



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

DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE

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

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) EN
LA REMOCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN**

AUTORES:

**SEGOVIA ZAMBRANO ANGELA MARIANA
ZAMBRANO ZAMBRANO VÍCTOR MANUEL**

TUTOR:

ING. JULIO LOUREIRO SALABARRIA M. Sc

CALCETA, FEBRERO 2021


DERECHOS DE AUTORÍA

Yo **Angela Mariana Segovia Zambrano**, con cédula de ciudadanía 131354455-1 y **Víctor Manuel Zambrana Zambrano**, con cédula de ciudadanía 130967268-9 declaro bajo juramento que el Trabajo de Titulación titulado: **EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (Chrysopogon zizanioides) EN LA REMOCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN** es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo 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 mi 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.



Ángela Mariana Segovia Zambrano



Víctor Manuel Zambrana Zambrano

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. JULIO LOUREIRO SALABARRIA M. Sc, certifico haber tutelado el trabajo de titulación **EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) EN LA REMOCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN**, que ha sido desarrollado por ANGELA MARIANA SEGOVIA ZAMBRANO y VÍCTOR MANUEL ZAMBRANO ZAMBRANO, previa a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



ING. JULIO LOUREIRO SALABARRIA M. Sc

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) EN LA REMOCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN**, que ha sido propuesto, y desarrollado por ANGELA MARIANA SEGOVIA ZAMBRANO y VÍCTOR MANUEL ZAMBRANO ZAMBRANO, previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



QF. PATRICIO NOLES AGUILAR M. Sc

MIEMBRO



ING. SERGIO ALCÍVAR PINARGOTE M. Sc

MIEMBRO



ING. FABRICIO ALCÍVAR INTRIAGO, M. Sc

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por permitirnos llegar a cumplir esta meta de ser ingenieros, por ayudarnos a ser perseverante y salir adelante.

A la Escuela Superior Politécnica de Manabí “MFL”, por brindarnos la oportunidad de estudios superiores de calidad y calidez, y además excelencia de docentes y directivos de ella.

A nuestro tutor por su ayuda brindada, por su orientación con sus aportaciones en el trabajo realizado.

A nuestros padres, hermanos, amigos verdaderos y demás familiares los cuales nos ayudaron a este trabajo se realizará por su apoyo e impulsarnos a cumplir el objetivo de ser profesionales.

LOS AUTORES

DEDICATORIA

A Dios principalmente por ser quien me dio la sabiduría, humildad y perseverancia día a día para salir adelante y así cumplir mis metas propuestas.

A mis padres Danilo y Susana, porque fueron ellos quienes me inculcaron con sus consejos a salir adelante y siempre brindarme su apoyo en los inicios de mis estudios universitarios, mi gratitud a ustedes.

A mi amado esposo Ángelo Marcillo, porque fue quien me ayudó con mucho esfuerzo a culminar esta meta, a su vez, por su paciencia y su apoyo incondicional en la realización de este trabajo.

A mi hijo Iham Josué, por darle un nuevo sentido a mi vida, ser mi fortaleza y ser quien me da motivación para que este sueño se haga realidad.

A mis hermanos Lucia y Antonio, porque nunca dejaron de confiar en mí y siempre me brindaron sus sabios consejos.



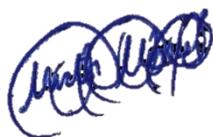
ANGELA MARIANA SEGOVIA ZAMBRANO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por ser la motivación espiritual a lo largo de mi vida, a mis padres, hermanas y a mi esposa por su arduo sacrificio y empuje en el trayecto de mi formación profesional y personal, sin ellos no hubiese llegado hasta donde estoy.

A mis docentes que más que eso se han convertido en mis amigos incondicionales, a ellos les agradezco de corazón por la paciencia, por la dedicación puesta en mí.

A mis amigos, a los verdaderos; por apoyarme cuando más los requiero, por extender su mano en momentos difíciles y en los peores, siempre los llevo en mi corazón.



VÍCTOR MANUEL ZAMBRANO ZAMBRANO

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS	xi
FIGURAS	xii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL.....	5
2.2. AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN	5
2.3. ESTÁNDARES DE CALIDAD.....	6
2.3.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH).....	6
2.3.2. FÓSFORO	6
2.3.4. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO).....	7
2.3.6. NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	7
2.3.7. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).....	7
2.4. FITORREMEDIACIÓN PARA AGUAS RESIDUALES	8
2.4.1 SISTEMA ADIC VOCA	8
2.5. PASTO VETIVER (<i>Chrysopogon zizanioides</i>)	9
2.5.1 EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (<i>Chrysopogon zizanioides</i>).....	10
2.5.2 TOLERANCIA Y ADAPTACIÓN DEL PASTO VETIVER A CONDICIONES CLIMÁTICAS EXTREMAS.....	11
2.6 PROTOCOLO DE SELECCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO.....	12
2.6.1 MUESTREO	12

2.6.2	DETERMINACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO	12
2.6.3	TIPO DE MUESTREO	12
2.6.3.1.	MUESTRA INDIVIDUAL.....	12
2.6.3.2.	MUESTRA COMPUESTA.....	12
2.6.4	EQUIPO DE MUESTREO PARA EL ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS O QUÍMICAS	13
2.7.	DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR (DCA)	13
2.8.	PRUEBAS DE ESTADÍSTICAS	14
2.8.1.	PRUEBA SHAPIRO WILK.....	14
2.8.2.	ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	14
2.8.3.	PRUEBA DE TUKEY.....	14
2.9.	TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE [TULSMA].....	15
2.9.1.	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGA DE EFLUENTES A CUERPOS DE AGUA DULCE.....	16
2.10.	COSTOS	17
2.10.1.	MATERIA PRIMA.....	18
2.10.1.1.	DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	18
2.10.2.	MANO DE OBRA	19
2.10.2.1.	DETERMINACIÓN DE LA MANO DE OBRA.....	19
2.10.3.	COSTO INDIRECTO.....	19
2.10.3.1.	DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS INDIRECTOS	20
CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		21
3.1.	UBICACIÓN	21
3.2.	DURACIÓN DE LA TESIS.....	22
3.3.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	22
3.3.1.	MÉTODOS	22
3.3.2.	TÉCNICAS	22
3.3.	VARIABLES EN ESTUDIO	23
	Variable dependiente: Remoción de la carga contaminante.	23
	Variable independiente: Pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>).....	23
3.4.	FACTOR EN ESTUDIO.....	23
3.5.	NIVELES	23

3.6.	TRATAMIENTOS	23
3.7.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	24
3.8.	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	24
3.9.	DATOS A MONITOREAR	25
3.10.	DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	25
3.11.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26
3.12.	PROCEDIMIENTO.....	26
	FASE I: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN MEDIANTE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	26
	ACTIVIDAD 1: TOMA Y ANÁLISIS DE LA MUESTRA DEL AGUA RESIDUAL DEL ALMIDÓN	26
	ACTIVIDAD 2: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS CON LA NORMATIVA AMBIENTAL ECUATORIANA	27
	FASE II: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO CON PASTO VETIVER (CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES) PARA AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN.....	28
	ACTIVIDAD 3: ADAPTACIÓN DEL PASTO VETIVER (<i>Chrysopogon zizanioides</i>).....	28
	ACTIVIDAD 4: IMPLEMENTACIÓN DEL EXPERIMENTO	28
	ACTIVIDAD 5: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO..	29
	ACTIVIDAD 6: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS CON EL TULSMA LIBRO VI ANEXO 1	29
	FASE III: DETERMINACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	30
	DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	30
	DETERMINACIÓN DE LA MANO DE OBRA DIRECTA.....	31
	DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS INDIRECTOS DE ELABORACIÓN	31
	INFORME DE COSTOS DEL EXPERIMENTO.....	32

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN MEDIANTE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	34
4.1.1. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE PARÁMETROS	35
4.1.1.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	35
4.1.1.2. pH.....	37
4.1.1.3. DBO ₅	38
4.1.1.4. FÓSFORO	39
4.1.1.5. NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL.....	41
4.2. ANÁLISIS LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO	42
4.2.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	44
4.3. DETERMINACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL EXPERIMENTO.	47
4.3.1.1 DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.	47
4.3.1.2 DETERMINACIÓN DE LA MANO DE OBRA	47
4.3.1.3 COSTOS INDIRECTOS DEL EXPERIMENTO.....	48
4.3.1.4 INFORME DE COSTOS DEL EXPERIMENTO.	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
5.1. CONCLUSIONES.....	50
5.2. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS.....	61

CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS

CUADROS

Cuadro 3.1. Características de la zona de estudio.....	34
Cuadro 3.2. Combinaciones de los niveles.	36
Cuadro 3.3. Tratamientos.....	36
Cuadro 3.4. Delineamiento Experimental.....	37
Cuadro 3.5. Descripción de las unidades experimentales.....	37
Cuadro 3.6. Parámetros a monitorear	38
Cuadro 3.7. Distribución de los tratamientos.....	38

Cuadro 3.8. Muestras tomadas	39
Cuadro 3.9. . Extracto de los Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del TULSMA Tabla N°9.....	41
Cuadro 3.10. Parámetros a utilizarse	39
Cuadro 3.11. Ficha de materias primas	39
Cuadro 3.12. Ficha de mano de obra directa	39
Cuadro 3.13. Ficha de costos indirectos de elaboración	39
Cuadro 3.14. Ficha de informe de costos del experimento	39
Cuadro 4.1 Resultados de la caracterización del agua	43
Cuadro 4.2. Análisis Sharpiro-Wilks de los datos.....	44
Cuadro 4.3. Variación de pH en los días de tratamiento	46
Cuadro 4.4. Variación de DOB5 en los días de tratamiento.....	47
Cuadro 4.5. Variación de Fósforo en los días de tratamiento.....	49
Cuadro 4.6. Variación de Nitrógeno total kjeldahl en los días de tratamiento.....	50
Cuadro 4.7. Eficiencia de los tratamientos.....	51
Cuadro 4.8. Anova de los porcentajes de remoción de los tratamientos.....	53
Cuadro 4.9. Análisis Tukey, subconjuntos homogéneos para los sólidos suspendidos totales.....	49
Cuadro 4.10. Análisis Tukey, subconjuntos homogéneos para el pH.....	54
Cuadro 4.11. Análisis Tukey, subconjuntos homogéneos para el Fósforo.....	56
Cuadro 4.12. Análisis Tukey, subconjuntos homogéneos para el Fósforo.....	57
Cuadro 4.13. Costos de la materia prima.....	60
Cuadro 4.14. Costos de la mano de obra.....	60
Cuadro 4.15. Costos indirectos del experimento.....	61
Cuadro 4.16. Informe de costos del experimento.....	61

FIGURAS

Figura 3.1. Mapa de ubicación del sitio de investigación	34
--	----

GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Variación de Sólidos Suspendidos Totales (SST (mg/l) vs Días de tratamiento).....	46
--	----

Gráfico 4.2. Variación de pH (pH vs Días de tratamiento).....	47
Gráfico 4.3. Variación de DBO5 (DBO5 (mg/l) vs Días de tratamiento).....	49
Gráfico 4.4. Variación de Fósforo (Fósforo (mg/l) vs Días de tratamiento).....	50
Gráfico 4.5. Variación de Nitrógeno Total Kjeldahl (Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/l) vs Días de tratamiento).....	52
Gráfico 4.6. Eficiencia de los tratamientos.....	54
Gráfico 4.7. Costos de los tratamientos por cada repetición.....	59

RESUMEN

El siguiente trabajo tuvo como objetivo, evaluar la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la remoción de la carga contaminante de las aguas residuales proveniente de la industria de almidón, para esto se utilizó un diseño completamente al azar con 4 tratamientos, cada uno con 3 repeticiones, los cuales se les distribuyeron 4, 12, 25 esquejes respectivamente en un volumen de 18 litros de agua residual, el tratamiento duró 22 días en los cuales se monitorearon los parámetros físicos-químicos. Estas aguas residuales presentaron altas concentraciones de DBO₅ (760 mg/L) denotando así altas cantidades de materia orgánica, también mostraron una característica ácida con un valor de pH de 4,1; el fósforo presentó datos elevados de 20,47 mg/L y los SST 0,69 mg/l. En la adaptación de la planta al agua residual demostró que vetiver puede sobrevivir en condiciones hidropónicas, sumergida durante 3 meses. En el caso de la DBO₅ tuvo una eficiencia que llegó hasta los 70,75% de remoción en (A3), para el resto de parámetros monitoreados se obtuvo en SST con 40,45%, fósforo con 50,81%, y nitrógeno con 59,54% a diferencia del testigo que presentó valores muy por debajo de los tratamientos con vetiver, en el caso del pH fue muy favorable ya que pasó de 4,1 (ácido) hasta 7,50 (neutral). La investigación tuvo un valor total de implementación de \$328,90 valor que incluye la materia prima, mano de obra y costos indirectos, estos valores varían según la cantidad de vetiver utilizado en cada tratamiento.

PALABRAS CLAVE: Pasto vetiver, materia orgánica, agua residual, análisis fisicoquímico, industria de almidón.

ABSTRACT

The objective of the following work was to evaluate the efficiency of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) in the removal of the pollutant load of wastewater from the starch industry, for this a completely random design with 4 treatments was used, each one With 3 repetitions, which were distributed 4, 12, 25 cuttings respectively in a volume of 18 liters of residual water, the treatment lasted 22 days in which the physical-chemical parameters were monitored. These wastewaters presented high concentrations of BOD5 (760 mg / L) thus denoting high amounts of organic matter, they also showed an acid characteristic with a pH value of 4.1; phosphorus presented high data of 20.47 mg / L and TSS 0.69 mg / l. In the adaptation of the plant to wastewater, he showed that vetiver can survive in hydroponic and submerged conditions for 3 months. In the case of BOD5, it had an efficiency that reached 70.75% removal in (A3), for the rest of the monitored parameters it was obtained in SST with 40.45%, phosphorus with 50.81%, and nitrogen with 59.54%, unlike the control that presented values well below the vetiver treatments, in the case of the pH it was very favorable since it went from 4.1 (acid) to 7.50 (neutral). The research had a total implementation value of \$ 328.90 value that includes raw material, labor and indirect costs, these values vary according to the amount of vetiver used in each treatment.

KEYWORDS: Vetiver grass, organic material, pHysical-chemical analysis, starch industry, artificial wetland.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En los países en vías de desarrollo más del 80% de las aguas residuales se descargan en el ecosistema sin previo tratamiento, provocando contaminación en ríos, lagos y zonas costeras. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] (2017) menciona que en naciones de bajos recursos solo el 8% de las aguas residuales domésticas e industriales son tratadas. Escobar y Orduña (2014) argumentan que las aguas residuales de la industria de almidón causan impactos negativos, debido a la alta carga contaminante que poseen las que se generan durante el proceso productivo, al finalizar dicho proceso se hace la descarga de estas aguas sin tratamiento previo causando serios trastornos en la calidad de agua en cuerpos receptores de aguas superficiales (lagos y ríos).

Pérez *et ál.* (2009) afirman que en el proceso productivo se generan aguas residuales básicamente en dos etapas en el lavado-pelado de la yuca y en la sedimentación, la calidad y cantidad de los residuos generados en los procesos de extracción de almidón de yuca varían significativamente, debido a factores como edad del tubérculo, tiempo de almacenamiento, tipo de proceso utilizado, etc. Las aguas residuales generadas, presentan una elevada carga orgánica, además, de una elevada presencia de sólidos disueltos y compuestos cianuros de alta toxicidad (Torres *et ál.*, 2003)

Según Intriago y Muñoz (2014) señala que en Ecuador existen 365 pequeñas industrias de almidón donde 400 familias se dedican exclusivamente a esta tarea, produciendo alrededor de 100 toneladas de aguas residuales semanales. Estas empresas demandan alta carga contaminante que se encuentran por encima de los límites permisibles en la descarga de efluentes a cuerpos receptores de agua dulce

estas industrias no cuentan con el debido control de la entidad encargada descargan sus aguas sin previo tratamiento.

De acuerdo con estudios, las cuencas hidrográficas de Manabí son las más contaminadas durante las descargas de aguas residuales de las industrias agroindustriales. La parroquia Canuto del cantón Chone se caracteriza principalmente por las industrias de almidón a partir de la yuca como principal fuente económica de los agricultores, dicha actividad, genera aguas residuales con alta carga contaminante, las cuales, son descargadas directamente sin un previo tratamiento a los cuerpos de agua del río Tarugo y posteriormente, afectando a la calidad del agua del río Canuto, causando impactos al ecosistema y salud pública (Intriago y Muñoz, 2014).

Debido a los problemas antes mencionados, surgen los sistemas de tratamiento como alternativa para minimizar la carga contaminante del agua residual. Rojas (2002) señala que los tratamientos no convencionales son una tecnología sustentable y económica que utilizan plantas para reducir, degradar o inmovilizar compuestos orgánicos contaminantes presentes en el suelo, aire agua o sedimentos. El pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) resulta una excelente opción para la remoción de carga orgánica en el tratamiento de aguas residuales (Scavo *et ál.*, 2004).

A través de lo expuesto anteriormente se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuál será la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la remoción de la carga contaminante de las aguas residuales de la industria de almidón?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador se determina la Región Sierra como la provincia con mayor producción, correspondiendo a la provincia de Cotopaxi y en la Región Costa, Manabí es reconocida por ser pionera en la producción e industrialización del almidón de yuca (Vivanco, 2012). Por ende, la siembra y procesamiento de este tubérculo es el medio de sustento para muchas familias en nuestro país.

La Constitución del Ecuador (2008) Art.14. Sección segunda “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay”

Debido a ello, surge la necesidad de investigar metodologías para mitigar de algún modo la contaminación de cuerpos de agua, lo cual, se encuentra sustentado en el objetivo 7.6 del Plan Nacional del Buen vivir “Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua”

Las tecnologías no convencionales, son poco frecuentes en países en proceso de desarrollo. Generalmente en estos países, las aguas residuales tratadas son para grandes localidades empleando tecnologías convencionales que son eficientes y tienen un alto costo en construcción como en operación y por ello, necesitan áreas más extensas para ser implementadas. Las tecnologías no convencionales, por otro lado, las han adaptado en países europeos o norteamericanos, las cuales, se encuentran de manera sencilla referentes a la implementación de tecnologías limpias para el desarrollo de varias de sus actividades económicas (De la Vega, 2012).

El uso del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como alternativa no convencional para el tratamiento de aguas residuales, puede aportar una solución económica, eficiente y viable para reducir el aporte del contaminante en el agua. Santana y Santos (2016) afirman que se ha utilizado vetiver en humedales

artificiales, para la depuración de aguas residuales urbanas y para aguas residuales industriales con una elevada carga orgánica. En todos los procesos realizados con el pasto vetiver se ha logrado obtener elevados rendimientos por encima del 90% en DBO, DQO y SST.

Es por ello que en la presente investigación se tomó a consideración la utilización del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como una tecnología de fitorremediación en las aguas residuales provenientes de las empresas de almidón de yuca, y así mitigar en partes la contaminación hídrica generada a partir del procesamiento de este producto.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la remoción de la carga contaminante de las aguas residuales proveniente de la industria de almidón de yuca.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el agua residual de la industria de almidón mediante los parámetros fisicoquímicos.
- Analizar la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para el tratamiento del agua residual proveniente de la industria de almidón.
- Determinar los costos de implementación del experimento.

1.4. HIPÓTESIS

La utilización de pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en el tratamiento de las aguas residuales proveniente de la industria de almidón, logrará favorablemente tener una alta eficiencia en la remoción de la carga contaminante.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

Las aguas residuales, generan un conglomerado de sustancias, las cuales, son vehículo de contaminación en aquellos lugares donde son descargadas sin previo tratamiento (Fernández *et ál.*, 2006). Las industrias que utilizan materia prima son los generadores de mayor presión sobre los recursos hídricos que provocan impactos negativos en el ecosistema las aguas residuales, como potencial contaminante por el exceso de este recurso utilizado dentro del proceso de las industrias (Martínez y Nemerow, 1977).

La UNESCO (2017) señala que gran parte de las aguas residuales industriales se vierten sin tratamiento en los cursos de agua abierto, lo cual, reduce la calidad de grandes volúmenes de agua y, así mismo, se infiltran en los acuíferos y contaminan los recursos hídricos subterráneos.

2.2. AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN

Torres *et ál.* (2010) establecen que las industrias semimecanizadas y tradicionales de almidón generan impactos negativos en el ambiente ya que, en los procesos productivos de la elaboración de almidón de yuca, se presentan grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos. Generalmente, la industria de almidón implica el uso de grandes cantidades de aguas en el proceso tanto de lavado y pelado como en la sedimentación del almidón, las descargas de estas aguas sin previo tratamiento alguno, produce trastornos en la calidad de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos (Howeler *et ál.*, 2013).

De acuerdo Alarcón y Dufour (1998, como se citó en Sandoval y Ruiz, 2006) estas aguas residuales se caracterizan por tener valores bajos de pH, ausencia de alcalinidad bicarbonática, elevada acidez, alto nivel de ácidos grasos volátiles y un elevado contenido de materia orgánica con poca capacidad de sedimentación.

Según Torres *et ál.* (2007) si estas aguas residuales sin tratar son vertidas a un cuerpo de agua, afecta a la oxigenación del cuerpo de agua e incluso puede generar mortandad de especies acuáticas que habitan en ese ecosistema. Además, es conocida notablemente la yuca, debido a que contiene compuestos precursores de ácido cianhídrico (HCN) conocidos cianógenos, cuya abundancia en el tubérculo es variable según la variedad de la yuca y la zona donde se cultiva ésta (Alarcón y Dufour, 1998, como se citó en Sandoval y Ruiz, 2006).

2.3. ESTÁNDARES DE CALIDAD

2.3.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Vázquez y Rojas (2016) mencionan que el pH expresa el grado de acidez o alcalinidad de una solución, de 0 a 7 corresponde a una solución acida, de 7 a 14 es una solución básica. El pH es igual al logaritmo negativo de la concentración de la actividad del ion hidrógeno de una solución (Covington *et ál.*, 1985)

El pH del agua residual de la industria de almidón se caracteriza por tener un pH bajo, es decir, esta agua presenta alta acidez esto según Barba (2002), si estas aguas son vertidas a los ríos de la zona debido a la influencia antropogénica puede afectar de manera negativa a los procesos biológicos y sobrevivencia de las especies que estén interactuando en ese ecosistema (Rocha, 2010).

2.3.2. FÓSFORO

Baird (2004) señala que el fósforo es uno de los nutrientes de todos los seres vivos, las altas concentraciones en aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática.

De la misma manera, Kattan *et ál.*, (2017) afirman que en aguas residuales el fósforo se encuentra introducido en un complejo ciclo bioquímico que implica, el tránsito del elemento por medio de una serie de estados orgánicos e inorgánicos que son

transformados principalmente por vía microbiana. Según Sawyer *et ál.*, (2001) la evaluación del fósforo es de gran importancia, debido a que, se encuentra afectando a los fenómenos ambientales.

2.3.4. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO)

La demanda biológica de oxígeno, es un parámetro primordial para medir el grado de contaminación del agua residual, es la medida del oxígeno requerido para poder degradar la materia orgánica que contiene las muestras de agua, dada por individuos heterogénea de microorganismos en un determinado tiempo (Raffo y Ruiz, 2014). Por otro lado, Montes de Oca (2006) menciona que este es un parámetro que se aplica para aguas residuales, así mismo, para aguas superficiales. DBO a 5 días (DBO_5), es una estimación de la cantidad de oxígeno que demanda la población microbiana para oxidar materia orgánica en una muestra.

2.3.6. NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL

Los estudios medioambientales con esta determinación son de gran relevancia, debido a que, posee como indicador los procesos de tratamientos en control de la calidad de las aguas y, así mismo, en el control de las aguas residuales al medio (Sawyer *et ál.*, 2001).

2.3.7. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) es la cantidad de residuo de tamaño de poro nominal de un micrón y hace referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (Lecaros y Viale, 2008).

2.4. FITORREMIEDIACIÓN PARA AGUAS RESIDUALES

La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (Delgadillo *et al.*, 2011). La fitorremediación es una alternativa de tratamiento económica para aguas residuales en cuanto a operación y mantenimiento, ya que no requiere de energía, es amigable con el ambiente y eficiente para reducir la carga contaminante de las aguas residuales a niveles bajos, para así cumplir con las exigencias de las normas ambientales (Mendoza *et al.*, 2016)

Una de las plantas que ha cobrado importancia en la fitorremediación es el vetiver, dada su alta resistencia a ambientes extremos, condiciones de stress y acidez; en este sentido, el vetiver es eficiente para la eliminación de carga contaminantes, aunque a altas concentraciones la presencia de los mismos inhibe la producción de materia seca y la tasa fotosintética; no obstante, las aplicaciones de nitrógeno podrían evitar el efecto adverso del mismo (Castrillón *et al.*, 2017)

2.4.1 SISTEMA ADIC VOCA

El sistema a desarrollar en condiciones hidropónicas o fitorremediación para la planta de vetiver, es el sistema Adic Voca referido así por Saldaña (2017) donde consiste en ubicar estructuras flotantes forradas en malla de anejo para el establecimiento del vetiver.

El sistemas Adic Voca es un método utilizado para tratar aguas residuales, esta tecnología permite que el agua pase a través de las raíces de la planta de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) sembradas en plataformas flotantes, previo a dicha actividad se requiere que la planta terrestre sea adaptada a para trabajar en condiciones acuáticas (Merino, 2017).

En Tailandia, Chansiri y Boonsong (2005, citado por Santana y Santos, 2016) para comparar la eficiencia de dos vetiveres ecotipos en el tratamiento de las aguas residuales se utilizaron la técnica de Adic Voca en doce recipientes de plástico de 0,85 x 1,55 x 0,50 m cada uno (ancho x largo x alto) se establecieron junto con el tubo de entrada y la válvula de conectado al tanque de almacenamiento de agua; la profundidad del agua se mantuvo a 0,4 m. Para la estructura flotante que se colocó en la superficie del agua junto con las plantas se utilizaron tableros de espuma flex que tenían una dimensión de 0,6 x 1,2 x 0,025 m (ancho x largo x alto), se realizaron 60 agujeros de un diámetro de 4,5 cm en un área de 10 x 10 cm², cada agujero estaba cubierto con una esponja para asegurar la posición de cada vetiver (Merino, 2017).

2.5. PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*)

Santana y Santos (2016) expresan que el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una planta que proporciona protección al ambiente eliminando toxinas y, además, absorbiendo grandes cantidades de nutrientes, de este modo, obteniendo un tratamiento efectivo a los suelos y aguas contaminadas por diferentes actividades. La aplicación del pasto vetiver para la protección y tratamiento de suelos y agua radica en la interacción que realizan sus raíces con los cuerpos afectados que brinda soluciones para atender las aguas residuales industriales, municipales, eliminación de lixiviados y purificación de aguas contaminadas (Wildschut, 2013).

Las cualidades del pasto vetiver y sus usos son variados, así mismo de, poseer características fisiológicas y morfológicas que son particularmente apropiadas para la protección ambiental, especialmente para la prevención y tratamiento de suelos y aguas contaminadas, estas características sobresalientes incluyen una gran tolerancia a niveles altos e incluso tóxicos de salinidad, acidez, alcalinidad (Orihuela, 2007). Del mismo modo, puede generar una gran cantidad de biomasa en condiciones húmedas, los usos y aplicaciones de vetiver como herramienta de fitorremediación para la protección ambiental representan una estrategia

innovadora que tiene un enorme potencial; el pasto vetiver es una solución natural, verde, sencilla, práctica y económica (Herrera, 2015).

El *Chrysopogon zizanioides* una vez plantado crece rápidamente, logrando desarrollarse en 6 meses una planta de 2m de altura y con raíces de 1m de largo. Alcanza la madurez a los 18-24 meses con raíces de hasta 4m, también se caracteriza por poseer una longevidad alta, de más de 50 años, a su vez, desarrolla un sistema radicular profundo y muy resistente, por lo tanto, la parte aérea como subterránea crea una barrera eficaz (Wildschut, 2013, Citado por Santana y Santos, 2016).

2.5.1 EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*)

El uso de micrófitas flotantes es considerada eficiente en remoción de las aguas residuales, una cantidad importante de especies ha sido empleada en sistemas de tratamiento, el pasto vetiver ha sido utilizado para investigaciones, debido a que, posee características adecuadas para la protección del medio ambiente, por su tolerancia a soportar niveles elevado e inclusive tóxicos y ser eficiente en la absorción de nutrientes tales como N y P, cargas orgánicas, tales como, metales pesados en aguas contaminadas y de bajo costo (Martelo y Lara, 2012).

Chrysopogon zizanioides adquiere reducciones de DBO₅ en el orden de 95%, en el caso de los sólidos suspendidos se registran disminuciones con valores que se encuentran en el rango de 21% y 91%, en cuanto al fósforo total y nitrógeno total Kjeldahl, se alcanzaron máximas remociones de 91,7% y 98,5% respectivamente, siendo este último, el contaminante con mayor remoción (Anon y Zheng *et ál.*, 1997, como se citó en Santana y Santos, 2016).

En un estudio Hart *et ál.* (2003, Citado por Santana y Santos, 2016) llevaron a cabo una serie de pruebas para evaluar la eficacia del vetiver en el tratamiento de efluente después de que ha sido tratada en tanques sépticos, los resultados indicaron que el mejor método de aplicar para depurar un efluente debe de fluir a 20 l/min a través

de las raíces de vetiver, y en un volumen de 20 litros del sistema hidropónico se obtiene un alto nivel de disminución en fósforo y nitrógeno total Kjeldahl. Un metro cuadrado de hidropónico vetiver puede absorber 30000 mg de N y 3575 mg de P en ocho días.

2.5.2 TOLERANCIA Y ADAPTACIÓN DEL PASTO VETIVER A CONDICIONES CLIMÁTICAS EXTREMAS

Según Orihuela (2007) el Vetiver es muy adaptable a condiciones climáticas extremas, puede desarrollarse y sobrevivir bajo sequías prolongadas, inundaciones y también en climas calientes y fríos. La extensa y larga raíz del Vetiver mencionada anteriormente, puede utilizar la humedad en las profundidades del suelo para permitir la sobrevivencia del pasto Vetiver bajo condiciones de sequía hasta por 6 meses.

Adicionalmente, el pasto Vetiver es considerado una hidrófita (una planta de humedal) debido a su bien desarrollada red de sclerenchyma (paredes celulares que encapsulan aire) (Orihuela, 2007).

En la adaptación al medio acuático los esquejes se deben lavar con agua potable para así eliminar agentes contaminantes que afecten en el sistema, además las hojas se deben cortar a los 30 cm para reducir la transpiración y estimular la rápida emergencia de raíces y hojas (Orihuela, 2007).

Consecuentemente, el Vetiver puede desarrollarse en un ambiente hidropónico, se demostró que el vetiver puede sobrevivir completamente sumergido por más de 120 días, haciendo una previa adaptación en la cual se dejan en un recipiente con 8cm agua durante 5 semanas antes de la implementación del sistema hidropónico (Erazo, 2017). De igual forma, el Vetiver puede sobrevivir por más de tres meses bajo aguas lodosas.

2.6 PROTOCOLO DE SELECCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO

2.6.1 MUESTREO

Es el proceso de tomar una porción representativa de un volumen de agua para el análisis de varias características definidas (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013).

2.6.2 DETERMINACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO

El territorio donde se realiza un muestreo es el primer punto a tomar en cuenta, de la misma manera, dependiendo de las características del lugar, se preparara el plan de muestreo; por tanto, si se dispone de un sistema de posicionamiento global (GPS), se posiciona satelitalmente la ubicación lo más concretamente posible (Maure, 2013).

2.6.3 TIPO DE MUESTREO

El tipo de muestreo (simple, compuesto, integrado), depende de los parámetros a evaluar, del origen de la muestra, de las características del sitio de muestreo y del tipo de evaluación que se realiza (simple monitoreo, seguimiento, calidad del agua, verificación de cumplimiento, otras) (Maure, 2013).

2.6.3.1. MUESTRA INDIVIDUAL

La norma INEN (2013) menciona que una muestra individual también llamada puntual o instantánea, es la muestra que se toma de forma al azar con respecto al tiempo y/o lugar de un volumen de agua.

2.6.3.2. MUESTRA COMPUESTA

De acuerdo a INEN (2013) es una muestra de dos o más submuestras, que se mezclan en proporciones conocidas, de la que se puede obtener un resultado

promedio de una característica determinada. Los criterios para el muestreo se basan en el tiempo de muestra y en el flujo del residual.

2.6.4 EQUIPO DE MUESTREO PARA EL ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS O QUÍMICAS

El volumen de muestra recogida debe ser suficiente para los análisis requeridos, y para cualquier repetición del análisis. El uso de volúmenes muy pequeños de muestra puede ser causa de que no sean representativos y del incremento de los problemas de adsorción, debido a, la relación de volúmenes relativamente pequeños al área. Las personas que realizan el muestreo deben:

- Reducir el tiempo de contacto entre la muestra y la persona.
- Usar materiales que no permitan la contaminación en la muestra;
- Ser de diseño simple para facilitar la limpieza, ser de superficies lisas y que eviten la modificación del flujo como los recodos y con tan pocas tapas y válvulas como sea posible (INEN, 2013).

2.7. DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR (DCA)

Su nombre se debe al hecho, en el cual, existe completamente una aleatorización, también se lo conoce como diseño de una vía. Una de las ventajas de este diseño es su flexibilidad, ya que hay total libertad en la unidad experimental, sin embargo, en comparación con otras unidades experimentales donde se puede ejecutar control es menos sensible y tiene poder analítico débil (Navarro y Vargas, 2015).

Este modelo es considerado el más sencillo del diseño de experimentos, en el cual, la variable de respuesta puede depender de la influencia de un único factor, de forma que, el resto de las causas de variación se engloban en el error experimental (Navarro y Vargas, 2015).

2.8. PRUEBAS DE ESTADÍSTICAS

Las técnicas estadísticas o métodos nos permiten interpretar datos cuyo carácter es fundamental es la variabilidad (Moncada, 2020).

2.8.1. PRUEBA SHAPIRO WILK

Esta prueba compara las medias de todos los tratamientos contra un control (testigo), el cual, a su vez considera como un tratamiento, esta prueba, nos permite establecer diferencias entre las medias de los otros tratamientos entre sí (Wong, 2010).

2.8.2. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

De acuerdo a Terrádez *et al.*, (2003) señala que la técnica de análisis de varianza (ANOVA) también conocida como análisis factorial y desarrollada por Fisher en 1930, constituye la herramienta básica para el estudio del efecto de uno o más factores (cada uno con dos o más niveles) sobre la media de una variable continua. Esta técnica puede generalizarse también para estudiar los posibles efectos de los factores sobre la varianza de una variable.

El análisis de la varianza (ANOVA) es una potente herramienta estadística, de gran utilidad tanto en la industria, para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos. Los ejemplos de aplicación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso (Boqué *et al.*, 2004).

2.8.3. PRUEBA DE TUKEY

Es un test que tiene como objetivo principal especificar una hipótesis alternativa genérica como la de los test anova, de la misma manera, compara las medias de

los 16 números de niveles de un factor después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA (Llopis, 2013).

2.8.4. STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES (SPSS)

SPSS es un potente software utilizado para el análisis estadístico de datos, dotado de una intuitiva interfaz gráfica, resultando ser de muy fácil manipulación, además es capaz de procesar ficheros de datos de 30000 variables y cualquier tamaño de casos (Rojo, 2016).

las diversas opciones y procedimientos estadísticos de un programa como SPSS permite administrar bancos de datos de manera eficaz, hacer proyecciones y análisis de tendencias que permitirán planear actividades a largo plazo y, en general, hacer un mejor uso de la información capturada en forma electrónica (Castañeda, Cabrera, & Navarro, 2010).

2.9. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE [TULSMA]

Según el Ministerio de Ambiente [MAE] (2004) el TULSMA se constituye en un cuerpo normativo que agrupa las normas reglamentarias (secundarias) más importantes vigentes en el Ecuador en materia ambiental, en éstas se fijan los límites permisibles de emisión, descargas y vertidos al ambiente.

Contiene normas técnicas dictadas bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional (Texto Unificado De Legislacion Secundaria Del Ministerio Del Ambiente [TULSMA], 2015).

En el caso del recurso agua La presente norma técnica determina o establece:

- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;

- Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua (TULSMA, 2015).

2.9.1. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGA DE EFLUENTES A CUERPOS DE AGUA DULCE

Según el TULSMA (2015), afirma que, en condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, se utilizarán los valores de la TABLA 9 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente.

Las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecidos en esta Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado; los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia. Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia los cuerpos receptores, canales de conducción de agua a embalses, canales de riego o canales de drenaje pluvial, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas (TULSMA, 2015).

A continuación, la tabla 9. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce

Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1

Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química del Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ - ²	mg/l	1000
Sulfuros	S - ²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: Libro VI del TULSMA, (2015)

2.10. COSTOS

Según Orozco (2016), menciona que el costo es una inversión en actividades y recursos que proporcionan un beneficio, es el reflejo financiero de operaciones realizadas y factores empleados, muestra en términos monetarios, los procesos de producción, de distribución y administración en general. Los costos de adquisición

o fabricación de bienes y/o prestación de servicios, se fundamentan en la naturaleza del ente económico, en la planificación de las actividades operativas, en las características de los productos y en los procesos y procedimientos empleados en la producción; se integran al sistema de contabilidad y se apoyan en el sistema de información y en el sistema de control interno existentes, especialmente en las funciones relacionadas con los procesamientos y controles de las operaciones, los valores monetarios imputables a los productos y la generación y presentación de informes; estos costos tienen tres elementos fundamentales materia prima, mano de obra y costos indirectos (Pantoja, 2017).

2.10.1. MATERIA PRIMA

Se conocen como materias primas los elementos utilizados en la fabricación o producción de bienes, que son sometidos a uno varios procesos de transformación y, al término de los mismos, dan origen a algunos productos o bienes totalmente diferentes de aquellos insumos originales, que en muchos casos y a simple vista no es posible identificar las materias con que han sido elaborados (Pantoja, 2017).

La materia prima es aquella que forma parte del producto final, es decir, es fácilmente identificable y está físicamente presente en la composición del producto terminado una vez ha finalizado el proceso de fabricación; en otras palabras, las materias primas se pueden medir y cargar convenientemente al costo de producción (Caicedo, 2014).

2.10.1.1. DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para la determinación de la materia prima directa se establecen los procesos, unidad de medida de la materia prima y cuanto interviene en cada proceso; no siempre es fácil distinguir la materia prima directa, ya que son elementos a los cuales se le ejerce una labor con el objeto de transformarlo en el productor terminado, por ende, se debe a tomar a consideración el material principal que se utiliza para la elaboración de un producto, he ahí la materia prima (Sinchiguano et al., 2017). Estos materiales suelen representar un alto porcentaje en el costo de

elaboración del bien, el termino materia prima puede ser definido como toda aquella sustancia, elemento o componente que es utilizado en la fabricación de bienes y productos (Torres, 1996).

2.10.2. MANO DE OBRA

De acuerdo a Ramírez (2019), señala que constituyen mano de obra los sueldos de los trabajadores por el tiempo en que éstos estén vinculados a las labores propias de transformación o modificación de las materias primas o los materiales directos utilizados en la elaboración de productos e identificables con un lote de producción u orden de fabricación individualmente determinado o con un proceso de producción específico. Es el costo del tiempo que los trabajadores han invertido en el proceso productivo en forma manual o mecánica y se utiliza para fabricar los productos (Eltit *et al.*, 2002)

2.10.2.1. DETERMINACIÓN DE LA MANO DE OBRA

La mano de obra es la remuneración que se da a los trabajadores que intervienen directamente en la elaboración de un producto, se determina mediante la elaboración del rol de pagos, estableciendo el número del personal que interviene en cada proceso para la producción de bienes; Por tanto, hay dos componentes principales en la obtención de la mano de obra directa los cuales son: el costo estimado de una hora de trabajo directo, así como el número de horas que una mano de obra dedica a producir una unidad de producto (Sinchiguano *et al.*, 2017)..

2.10.3. COSTO INDIRECTO

Sinchiguano *et al.*, 2017 señala que son los costes vinculados al proceso de producción de aquellos factores que contribuyen a obtener el producto final, a excepción de los costes directos (materia prima o mano de obra). Los costos indirectos de fabricación son gastos generales de fabricación o gastos de manufactura, incluyen una variedad de conceptos que, junto con las distintas formas o bases que existen para cuantificarlos y asignarlos a los productos, hacen que este

tercer elemento del costo termine siendo más complejo que los dos anteriores, cuya importante e imprescindible contribución en la valoración de los productos está altamente influenciada por factores como el tamaño de la estructura utilizada en la producción, por su organización operativa y funcional y por el mayor o menor grado de mecanización y/o automatización existente en el ente económico (García, 2018).

2.10.3.1. DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS INDIRECTOS

De acuerdo García, 2018 señala que los costos indirectos están compuestos por todos aquellos costos que no participan directamente en el proceso de transformación de la materia prima en el producto final, sino que son auxiliares para dicho proceso. Los costos indirectos que se toman en consideración para el manejo de los costos por proceso se basan en la intervención indirecta con los procesos o con la producción de los bienes (Sinchiguano et al., 2017)

CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

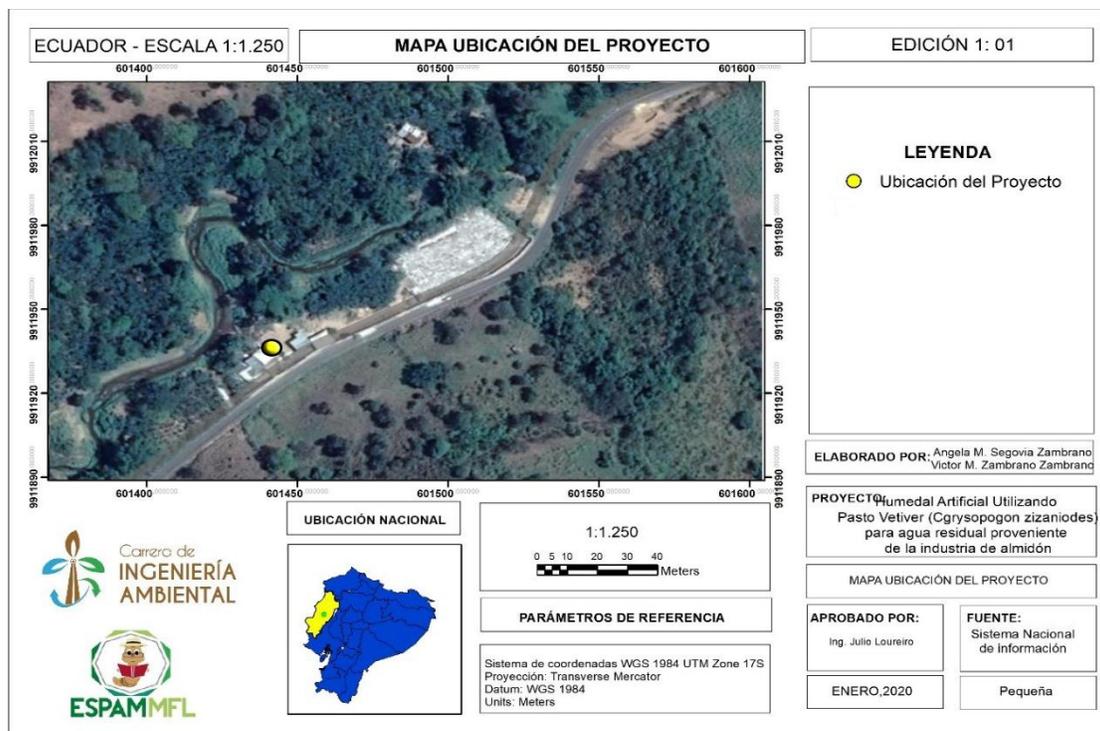
La investigación se desarrolló en el sitio Olla Vieja perteneciente a la parroquia Canuto, Chone-Manabí, la cual, consta de las siguientes características:

Cuadro 3.1. Características de la zona de estudio

Características	Olla Vieja Canuto
Coordenadas UTM	601251,062 E 9911735,801N 17M
Temperatura promedio anual (°C)	27.3 y 24.3
Precipitación promedio anual (mm)	1058

Fuente: Los autores

Figura 3.1. Mapa de ubicación del sitio de investigación



Fuente: ArcMAP

3.2. DURACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación tuvo una duración de 9 meses dentro de un año calendario a partir de la aprobación.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. MÉTODOS

Se utilizó el método descriptivo que sirvió para ponderar las combinaciones de niveles de la tesis y poder formular en base a esto, la idea a defender.

- **MÉTODOS DE LABORATORIO:** además, se emplearon métodos estándares de laboratorio para el análisis de las muestras obtenidas en campo.
- **BIBLIOGRÁFICO:** se utilizó la web para recopilar información en páginas web, revistas científicas, libros u otro proyecto los cuales se encontraron relacionados con el tema.

3.3.2. TÉCNICAS

Para realizar la evaluación de la tesis se aplicaron las siguientes técnicas.

- **OBSERVACIÓN:** permitió observar el lugar donde se realizó la presente tesis y sus variables para posteriormente recopilar la información necesaria para su posterior análisis.
- **USO DE SOFTWARE:** se aplicaron las técnicas del Sistema de Información Geográfica (SIG) con el software ArcMap para establecer los puntos de muestreo en el área de estudio, además se utilizó el programa SPSS versión 21 para realizar el análisis estadístico de los resultados.
- **MUESTREO:** con esta técnica se adquirió conocer la afectación sobre el ambiente receptor que es el agua en cuanto a los análisis a realizar físico-químicos (pH, temperatura, DBO, fósforo, SST y nitrógeno total Kjeldahl).

3.3. VARIABLES EN ESTUDIO

Variable dependiente: Remoción de la carga contaminante.

Variable independiente: Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).

3.4. FACTOR EN ESTUDIO

FACTOR A: El pasto vetiver (Esquejes).

3.5. NIVELES

(N° esquejes x volumen de agua)

Cuadro 3.2. Combinaciones de los niveles.

Tratamiento	Nivel	Volumen de agua
A1	4	18 litros
A2	12	18 litros
A3	25	18 litros
Testigo	0	18 litros

Fuente: Los autores

3.6. TRATAMIENTOS

La combinación fue para cuatro tratamientos, con tres repeticiones dispuestas en un diseño completamente al azar, teniendo un total de 12 unidades experimentales.

Cuadro 3.3. Tratamientos

No tratamiento	Tratamientos
1	A1
2	A2
3	A3
4	Testigo

Fuente: Los autores

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Cuadro 3.4. Delineamiento Experimental

Diseño experimental	Diseño Completamente al Azar (DCA)
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	3
	Esquejes del pasto vetiver
	1. 4 esquejes
Niveles	2. 12 esquejes
	3. 25 esquejes
	4. Sin esquejes (Testigo)

Fuente: Los autores

3.8. UNIDAD EXPERIMENTAL

El total de los tratamientos es de 4 (3 tratamientos y un testigo) y a cada uno se le realizó 3 repeticiones, con un total de 12 unidades experimentales, donde se utilizó para cada tratamiento 18 litros de agua residual proveniente de la industria de almidón.

Cuadro 0.5. Descripción de las unidades experimentales

Unidades Experimentales	Combinaciones	
	Niveles de esquejes del pasto vetiver	Agua de residual de yuca
A1R1	4 esquejes	18 L
A1R2	4 esquejes	18 L
A1R3	4 esquejes	18 L
A2R1	12 esquejes	18 L
A2R2	12 esquejes	18 L
A2R3	12 esquejes	18 L
A3R1	25 esquejes	18 L
A3R2	25 esquejes	18 L
A3R3	25 esquejes	18 L
TESTIGO	Sin esquejes	18 L
TESTIGO	Sin esquejes	18 L
TESTIGO	Sin esquejes	18 L

Fuente: Los autores

3.9. DATOS A MONITOREAR

Cuadro 0.6. Parámetros a monitorear

Parámetros	Unidades
Temperatura	°C
Sólidos suspendidos totales	mg/l
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH
DBO ₅	mg/l
Fósforo	mg/l
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l

Fuente: Los autores

3.10. DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Se realizó completamente al azar la ubicación de las unidades experimentales la distribución quedó en el siguiente orden:

Cuadro 0.7. Distribución de los tratamientos

Distribución de los tratamientos		
SIN ESQUEJES	+++++	+++++
TESTIGO	A3R2	A3R3
++++	++++	SIN ESQUEJES
A1R1	A1R2	TESTIGO
+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++
A3R1	A2R1	A2R2
++++	SIN ESQUEJES	+++++
A1R3	TESTIGO	A2R3

Fuente: Los autores

3.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó el software SPSS (versión 21) para facilitar el procesamiento de los datos obtenidos; Las variables fueron sometidas al respectivo análisis de varianza de un factor (ANOVA) y aquellas que presenten significación estadística se le realizaron las siguientes pruebas con una tasa de error del 0,05 y un nivel de confianza del 95%:

- Prueba de Shapiro Wilk al 0,05
- Prueba de Tukey al 0,05

3.12. PROCEDIMIENTO

A continuación, se describe el procedimiento utilizado para la implementación de la tesis, basado en los objetivos específicos antes descritos.

FASE I: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN MEDIANTE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Mediante esta fase se procedió a realizar las siguientes actividades con el fin de caracterizar el agua residual de la empresa “Pedro Alcívar”:

ACTIVIDAD 1: TOMA Y ANÁLISIS DE LA MUESTRA DEL AGUA RESIDUAL DEL ALMIDÓN

Se utilizó un muestreo compuesto en las aguas residuales de la industria procesadora de Yuca “Pedro Alcívar”, mediante la metodología NTE INEN 2176:2013 Y 2226:2013 (Agua. Calidad Del Agua. Muestreo y técnicas de muestreo).

Se tomaron seis muestras con un volumen de 500ml en intervalos de tiempo de 30min, así como lo muestra el cuadro 3.8; una vez obtenidas las mismas se trasladaron al laboratorio con los respectivos cuidados regidos en la normativa INEN

2169:2013 para los respectivos análisis, donde se tomaron a consideración parámetros de los descritos en el cuadro 3.9.

Cuadro 3.8. Muestras tomadas

Muestras	Volumen	Tiempo de recolección
1	500ml	5:00 AM
2	500ml	5:30 AM
3	500ml	6:00 AM
4	500ml	6:30 AM
5	500ml	7:00 AM
6	500ml	7:30 AM

Fuente: Los autores

Cuadro 0.9. Parámetros a utilizarse

Parámetros	Unidades	Método
Temperatura	°C	Potenciometría
Sólidos suspendidos totales	mg/l	Gravimetría
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	pH-metro
DBO ₅	mg/l	Oximetría
Fósforo	mg/l	Espectrofotometría
Nitrógeno total Kjeldahl	mg /l	Volumetría

Fuente: Los autores

ACTIVIDAD 2: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS CON LA NORMATIVA AMBIENTAL ECUATORIANA

Una vez realizados los análisis, se procedió a comparar dichos parámetros con los límites máximos permisibles establecidos en Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Actualización del TULSMA Libro VI Anexo 1, tabla 9 (Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce), edición especial N°387 del 4 de noviembre de 2015.

Cuadro 0.10. Extracto de los Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del TULSMA Tabla N°9

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Temperatura	-----	°C	Condición natural ± 3
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Potencial de hidrógeno	pH	Unidades de pH	6-9

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica De Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Fósforo	P	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0

FASE II: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO CON PASTO VETIVER (CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES) PARA AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN

ACTIVIDAD 3: ADAPTACIÓN DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*)

Se adquirió 200 esquejes del pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la previa adaptación a las condiciones acuáticas, en primer lugar, se lavaron en limpia con la finalidad de eliminar los agentes contaminantes que afecten a la planta en condiciones hidropónicas (Orihuela, 2007).

Posteriormente por 30 días se colocaron las plantas en un recipiente con sustrato húmedo (tierra de monte) para así permitir el anclaje y adecuado crecimiento del sistema radicular de la planta técnica que hace referencia al manual de cultivo de Vetiver (Moncada, 2020). Una vez cumplido este tiempo se lavaron nuevamente los esquejes para así ubicarlos en un recipiente de plástico con 0,48 m³ de agua limpia a una altura de 8 cm, para la debida adaptación al medio acuático durante 5 semanas, en este tiempo los esquejes obtuvieron sus brotes, raíces y el tamaño adecuado para establecerlos al proceso hidropónico (Merino, 2017).

ACTIVIDAD 4: IMPLEMENTACIÓN DEL EXPERIMENTO

Para la implementación del experimento, se colocó agua residual en un tanque de 250 litros para su debida homogenización, técnica que se hace referencia del modelo realizado por Boonsong y Chansiri (2008), seguidamente se tomó a consideración el modelo hidropónico Adic Voca desarrollado por (Truong y Hard, 2001), que consiste en colocar agua residual en recipientes, y una plataforma flotante de poliestireno con agujeros de 4 cm de separación por cada grupo de

esqueje, para este caso se tomó como base de las unidades experimentales tachos volumétricos transparentes de 20L; seguidamente se distribuyeron 18 litros de agua con su respectivo aireador para evitar la descomposición de la misma, posteriormente se distribuyeron las plantas en grupos de 4, 12 y 25 (un esqueje por orificio) esquejes por unidad experimental.

ACTIVIDAD 5: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO

Se tomaron datos periódicos al agua residual en tratamiento desde los días 8-15-22. Luego se calculó el porcentaje de remoción de los parámetros seleccionados utilizando la fórmula de Chuchón y Aybar (2008):

$$\%Remoción = \frac{C_{afluente} - C_{efluente}}{C_{afluente}} * 100 \quad [3.1]$$

Donde:

C afluente: representa la concentración inicial.

C efluente: representa la concentración final

Una vez calculados todos los datos, se realizó el respectivo estudio estadístico en el programa SPSS para cada parámetro.

ACTIVIDAD 6: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS CON EL TULSMA LIBRO VI ANEXO 1

Se compararon los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos en la Actualización del TULSMA Libro VI Anexo 1, tabla 9 (Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce), edición especial N°387 del 4 de noviembre de 2015.

FASE III: DETERMINACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL EXPERIMENTO

ACTIVIDAD 7.- CÁLCULO DE COSTOS

Culminado el tiempo estimado de tratamiento del agua residual de la industria de almidón, se procedió a calcular los costos de implementación del experimento, con la finalidad de estimar de manera idónea los gastos de elaboración del tratamiento. Para ello se tomó a consideración una metodología adaptada al tema de estudio y que a su vez es citada por (Oña *et al.*, 2017). En donde describen pasos para la elaboración de un sistema de costos por proceso; a continuación, se describe los pasos a seguir descritos en dicha metodología.

- Determinación de la materia prima.
- Determinación de la mano de obra directa.
- Determinación de los costos indirectos de elaboración.
- Informe de costos del experimento

DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Se realizó a través de la metodología citada por (Oña *et al.*, 2017), donde se identificaron las materias primas utilizadas, además se utilizó una ficha de costo adaptada por los autores para este estudio, en la cual se consideró (Materias primas, cantidad, costo unitario y costo total). Se utilizó la ecuación 3.1 la cual es igual a la suma de los costos totales de todas las materias primas.

Cuadro 0.11. Ficha de materias primas

MATERIAS PRIMAS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$/UNIDAD)	COSTO TOTAL (\$)
SUMATORIA TOTAL DE MP			$\sum_1^k \text{Costo total MP}$

$$\text{Sumatoria total de MP} = \sum_1^k \text{Costo totales de MP} \quad (3.1)$$

DETERMINACIÓN DE LA MANO DE OBRA DIRECTA

Se realizó a través de la metodología citada por (Oña, Hurtado, Ulloa, & Jadan, 2017) donde se cuantificó la mano de obra y se utilizó una ficha de costo de mano de obra adaptada por los autores para este estudio. La ficha de mano de obra consideró (cantidad de trabajadores, horas totales de trabajo, salario/horas, total). En esta ficha se multiplicarán las horas de trabajo por el salario horas, dando como resultado el total de costos de la mano de obra por trabajador, finalmente Se utilizó la ecuación 3.2, misma que es igual a la sumatoria de mano de obra por trabajadores.

Cuadro 0.12. Ficha mano de obra directa

TRABAJADORES	HORAS TOTALES DE TRABAJO	SALARIO/HORAS(\$)	TOTAL MANO DE OBRA POR TRABAJADOR (\$)
SUMATORIA TOTAL DE MANO DE OBRA			$\sum_1^k \text{Costo total MDO}$

$$\text{Sumatoria total de MDO} = \sum_1^k \text{Costo total MDO} \quad (3.2)$$

DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS INDIRECTOS DE ELABORACIÓN

Se realizó a través de la metodología citada por (Oña *et al.*, 2017), donde se cuantificó los costos indirectos y se utilizó una ficha adaptada por los autores para este estudio. La ficha de costos indirectos de elaboración consideró (detalle, cantidad, tipo, costo unitario, total). Se utilizó la ecuación 3.3 la cual es la sumatoria del total de los costos indirectos.

Cuadro 0.13. Ficha de costos indirectos de elaboración

DETALLE	CANTIDAD	TIPO	COSTO UNITARIO (\$)	COSTOS (\$)
SUMATORIA TOTALDE DE C.I				$\sum_1^k Costo total$

$$\text{Suma total de C.I} = \sum_1^k \text{Costo totales} \quad (3.3)$$

INFORME DE COSTOS DEL EXPERIMENTO.

Se elaboró a través de la metodología citada por (Oña *et al.*, 2017), se utilizó una ficha de adaptada por los autores para este estudio que consta de (Detalles, costos, materia prima, repeticiones, tipo, valor Unitario, valor total); para la determinación de costos por tratamiento de sumaron los parámetros de materia prima, costos indirectos y la mano de obra; finalmente se utilizó la ecuación 3.4 que es igual a la suma de todos los costos por tratamientos.

Cuadro 0.14. Ficha de informe de costos del experimento.

DETALLES	COSTOS	MATERIALES	REPETICIONES	TIPO	VALOR UNITARIO(\$)	VALOR TOTAL(\$)
A1(4 ESQUEJES)	MATERIA PRIMA					
	COSTOS INDIRECTOS					
	MANO DE OBRA					
SUMATORIA TOTAL DE COSTOS EN A1						
A2(12 ESQUEJES)	MATERIA PRIMA					
	COSTOS INDIRECTIS					
	MANO DE OBRA					

SUMATORIA TOTALDE COSTOS EN A2	
A3(25 ESQUEJES)	MATERIA PRIMA
	COSTOS INDIRECTOS MANO DE OBRA
SUMATORIA TOTAL DE COSTOS EN A3	
TESTIGO(SIN ESQUEJES)	MATERIA PRIMA
	COSTOS INFDIRECTOS MANO DE OBRA
SUMATORIA TOTAL DE COSTOS EN EL TESTIGO	
COSTO TOTAL DE TRATAMIENTOS	
	\sum_1^k <i>Costo total de tratami</i>

$$\text{Costo total de tratamientos} = \sum_1^k \left[\begin{array}{l} \text{costo de A1} + \text{costo de A2} \\ + \text{costo de A3} + \text{costo del testigo} \end{array} \right] \quad (3.4)$$

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE ALMIDÓN MEDIANTE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Para la caracterización del agua residual de la empresa procesadora de almidón, se tomó una muestra compuesta del agua residual mediante las normas técnicas generales de la normativa NTE INEN 2176:2013 y 2226:2013. Misma que fue sometida posteriormente a análisis en el laboratorio de la ESPAM MFL, lugar donde se procedió a hacer la respectiva caracterización del agua residual, tanto de los parámetros físicos, como químicos, tomando a consideración los parámetros descritos a continuación:

Cuadro 4.1. Resultados de la caracterización del agua

	PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR	LMP*
Físicos	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	0,69±0,006	130
	pH	Unidades	4,1±0,050	6-9
Químicos	DBO5	mg/l	760±0,866	200
	Fósforo	mg/l	20,47±0,058	10
	Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	0,30±0,012	50

Nota: mean±SD

Límite máximo permisible Anexo 1, tabla 9- edición especial N°387 del 4 de noviembre de 2015

Fuente: Los autores

El cuadro 4.1., describe los resultados de la caracterización del agua proveniente de la planta procesadora de almidón de yuca, en la cual se muestran los valores obtenidos como también los límites máximos permisibles según la Actualización del TULSMA Libro VI Anexo 1, tabla 9 (Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce), edición especial N°387 del 4 de noviembre de 2015. Para los sólidos suspendidos totales se obtuvieron valores de 0,69 mg/l, posicionándose dentro de lo estipulado en la norma, seguidamente el pH con una estimación de 4,1 cuyo rango debería ser de 6-9. Otro de los parámetros a medirse fue la DBO₅ con un valor de 760 mg/l mientras que el límite máximo permisible es de 200 mg/l, lo mismo para el fósforo (20,47 mg/l), cuyo límite es de 10 mg/l. Por tanto, de acuerdo con lo contenido en el

Cuadro 4.1 no se cumplen los límites permisibles de fósforo, pH y DBO5 y si se cumplen los de solidos suspendidos totales y Nitrógeno Total Kjeldahl.

Según Torres *et ál.* (2010) La descarga de estos efluentes sin tratamiento suele generar en los cuerpos de agua un significativo deterioro e inhabilita sus usos tradicionales (consumo humano, agroindustrial y recreación). Además, puede presentar materia flotante que es peligrosa para los peces y otras formas de vida acuática por la obstrucción de los órganos respiratorios (branquias), reducción de la intensidad de la radiación luminosa y modificación de las cadenas alimenticias (Ramos *et ál.*, 2003)

4.1.1. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE PARÁMETROS

Se realizaron análisis de los indicadores Temperatura, pH, DBO5, Sólidos Suspendidos Totales, Fósforo y Nitrógeno Total Kjeldahl en la semana 0, 1 y 3 del diseño, obteniendo los resultados descritos a continuación:

4.1.1.2. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

El cuadro 4.2., refleja valores de solidos suspendidos totales para cada uno de los tratamientos en los diferentes días en que duró el experimento, para más información ver cuadro N°1 del anexo 2.

Cuadro 4.2. Variación de SST en los días de tratamiento

Tratamiento	Unidades	Días de tratamiento		
		8	15	22
A1	mg/l	0,69±0,010	0,66±0,021	0,57±0,021
A2	mg/l	0,70±0,006	0,59±0,015	0,55±0,059
A3	mg/l	0,69±0,006	0,43±0,015	0,38±0,015
Testigo	mg/l	0,69±0,029	0,66±0,020	0,59±0,020

NOTA: mean±SD

Fuente: Los autores

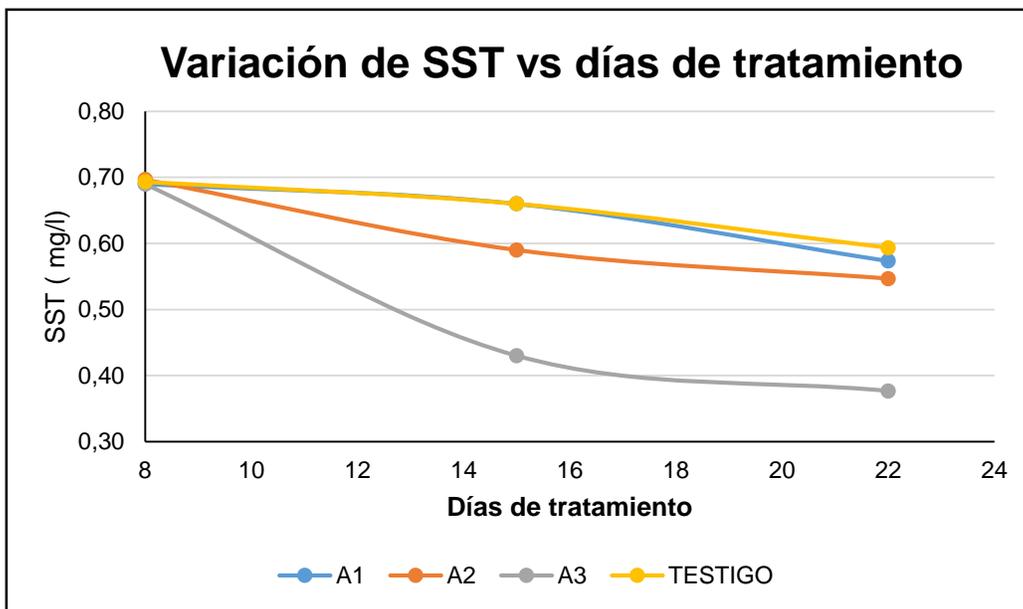


Gráfico 0.1. Variación de Sólidos Suspendingos Totales (SST (mg/l)) vs Días de tratamiento)

En el cuadro 4.2., se muestran los valores según el tratamiento; para A1 rangos de 0,61 mg/l hasta 0,57mg/l; 0,70mg/l a 0,55mg/l y para A2 0,69 hasta 0,38 a diferencia del testigo los SST no mostraron disminución significativa, ver (anexo 2, Cuadro 1).

Los porcentajes de remoción para este parámetro varían según los días y el tratamiento, para A1 valores de remoción del 16,90%, para A2 el 21,57% y para A3 el 45%, caso contrario del tratamiento A4 (Testigo) que fue de 14,42%, posicionando a A3 como el tratamiento con mejor comportamiento para este parámetro, ver (anexo 3, cuadro 3.1).

Al igual que en Caldera *et ál.* (2010) el sistema de humedales artificiales disminuyó la presencia de sólidos suspendidos totales en su investigación; por otro lado, Ríos y Gutiérrez (2011) mencionan que el humedal utiliza compuestos orgánicos del agua para la producción de biomasa, ocasionando efectos que ayudan al proceso de tratamiento; como es el crecimiento de la raíz para sostenimiento de microorganismos y propiedades hidráulicas del sustrato y el aporte de oxígeno hacia la rizosfera.

4.1.1.3. pH

El cuadro 4.3., refleja valores de pH para cada uno de los tratamientos en los diferentes días en que duró el experimento, ver cuadro N°1 del anexo 2.

Cuadro 4.3. Variación de pH en los días de tratamiento

Tratamiento	Días de tratamiento		
	8	15	22
A1	4,03±0,026	5,13±0,321	6,03±0,153
A2	4,01±0,032	5,27±0,064	6,73±0,058
A3	4,05±0,006	5,44±0,038	7,50±0,100
Testigo	4,03±0,006	5,10±0,100	5,20±0,200

NOTA: mean±SD

Fuente: Los autores

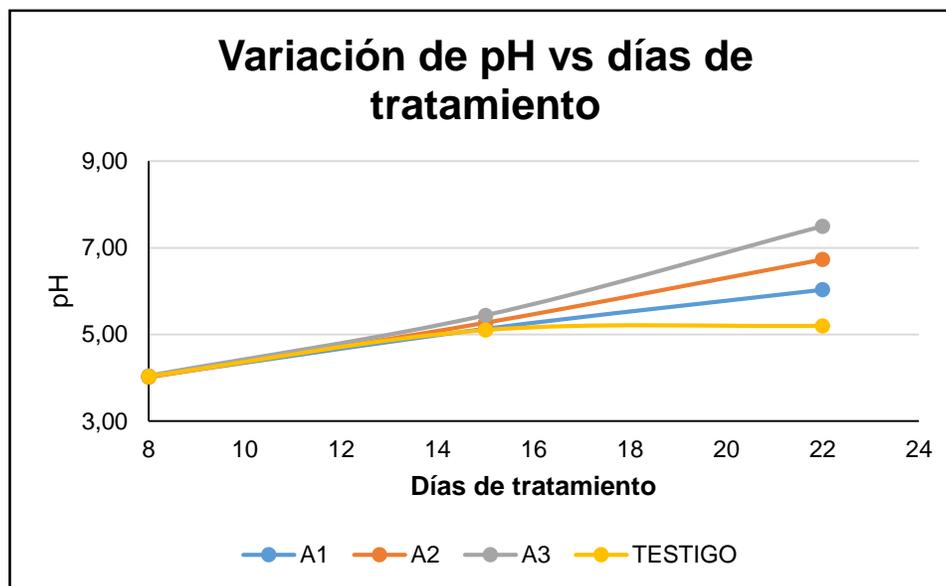


Gráfico 0.2. Variación de pH (pH vs Días de tratamiento)

El cuadro 4.2., muestra los valores obtenidos del pH en los días en que fue aplicado el proceso, da a notar rangos que varían según los días de tratamiento; para A1 de 4,03 a 6,03, para A2 desde 4,1 hasta 6,73 y para A3 de 4,05 a 7,50 por otro lado A4 (testigo) muestra valores de 4,03 hasta el día 22 de 5,20, ver (anexo 2).

En todos los tratamientos hubo aumento de este parámetro, pero el que mejor comportamiento tuvo fue A3 y A2 pasando de un estado ácido a neutro a partir del día 22 de tratamiento. Esto coincide con los resultados de De la Cruz *et ál.* (2019) Quienes describen un aumento de los valores del pH y materia orgánica, favoreciendo así la absorción de metales hacia la planta Vetiver.

Mainea (2007) señala que usualmente, al operar un sistema de humedal artificial, se puede encontrar un afluyente con concentraciones predominantemente altas de pH y conductividad, lo cual indica que es un buen sistema de remoción de estos parámetros, con una adaptabilidad adecuada a las características del agua residual (Hadada, 2006)

4.1.1.4. DBO₅

El cuadro 4.4., refleja valores de DBO₅ para cada uno de los tratamientos en los diferentes días en que duró el experimento, para más información ver (cuadro N°1 del anexo 2).

Cuadro 4.4. Variación de DOB₅ en los días de tratamiento

Tratamiento	Unidades	Días de tratamiento		
		8	15	22
A1	mg/l	748,33±1,528	662,00±2,646	443,00±1,732
A2	mg/l	720,33±1,528	569,33±0,577	330,00±10,000
A3	mg/l	680,00±1,000	447,67±2,082	222,33±2,517
Testigo	mg/l	757,33±0,200	666,00±1,000	452,67±2,082

NOTA: mean±SD

Fuente: Los aurtores

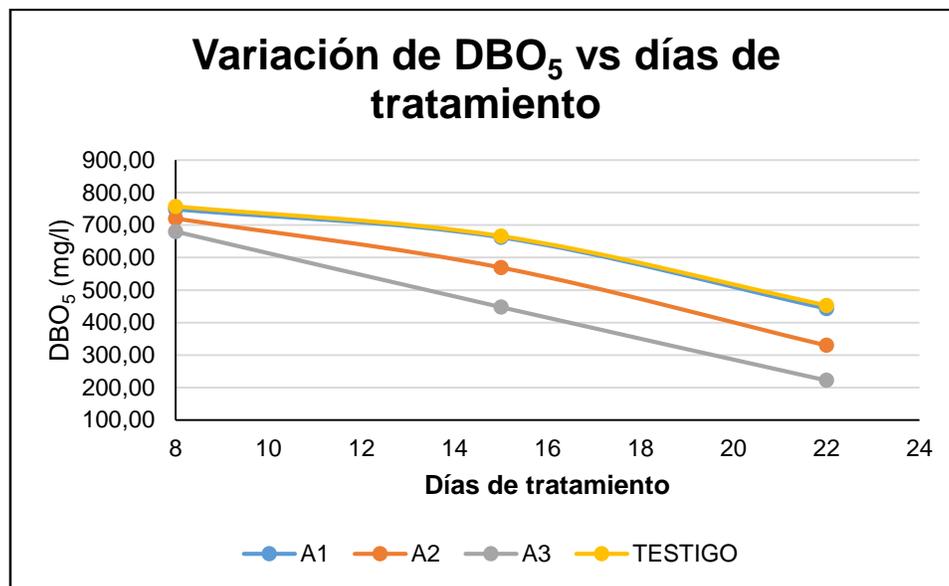


Gráfico 0.3. Variación de DBO₅ (DBO₅ (mg/l) vs Días de tratamiento)

En el cuadro 4.3., se muestra disminución del DBO con el transcurso de los días en que fue aplicado en tratamiento, con rangos para A1 desde los 748,33 mg/l hasta los 443 mg/l; para A2 720,33 mg/l a 330 mg/l y A3 desde 680 mg/l hasta los 222,33 mg/l; el tratamiento A4 (testigo) presento valores de 757,33 hasta los 452,67mg/l, para más información ver (anexo 2)

En el caso de los porcentajes de remoción, el mejor tratamiento en este caso fue A3 con un porcentaje promedio de remoción del 67,30%, mientras que para A2 fue de 54,19% y A1 con un 40,80%, para más información (anexo 3, tabla 3.1); esto coincide con la investigación descrita por Scavo *et ál.* (2018) en donde realizó un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas con pasto vetiver, obteniendo un rendimiento del 97% en remoción de DBO.

4.1.1.5. FÓSFORO

El cuadro 4.5., refleja valores de solidos suspendidos totales para cada uno de los tratamientos en los diferentes días en que duró el experimento, ver cuadro (N°1 del anexo 2).

Cuadro 4.5. Variación de Fósforo en los días de tratamiento

Tratamiento	Unidades	Días de tratamiento		
		8	15	22
A1	mg/l	20,47±0,058	18,07±0,115	17,13±0,321
A2	mg/l	20,47±0,058	16,87±0,351	12,77±0,643
A3	mg/l	20,47±1,000	15,10±0,100	10,07±0,153
Testigo	mg/l	20,5±2,082	18,17±0,153	17,4±0,200

NOTA: mean±SD

Fuente: Los autores

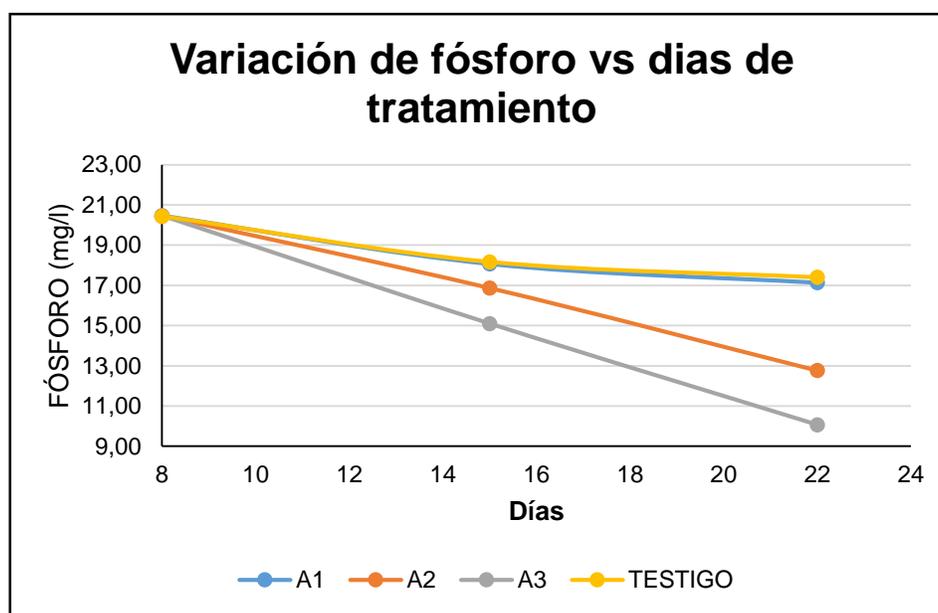


Gráfico 0.4. Variación de Fósforo (Fósforo (mg/l) vs Días de tratamiento)

En este parámetro se puede observar en el cuadro 4.4., disminución notable en cada uno de los tratamientos, precisamente en rangos de 20,47 mg/l hasta los 17,13 mg/l para A1; 20,47 mg/l a 12,77 mg/l para A2 y 20,47 mg/l a 10,07 mg/l para A3 por otro lado el testigo presenta valores de 20,5 mg/l hasta los 17,4 mg/l, ver (anexo1).

En el apartado de los porcentajes de remoción el tratamiento que mejor comportamiento tuvo fue A3 con una eficiencia de remoción del 50,81%, mientras que para A2, A1 y el testigo fue de 37,62%, 16,29% y 14,85% respectivamente, para más información ver (anexo 2, cuadro 2.1), esto concuerda con Santana y Santos

(2016) los cuales elaboraron un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales como alternativa sustentable, obteniendo un porcentaje de remoción aproximadamente del 68% por otro lado, Truong y Danh (2015) argumentan que el Vetiver es superior en términos de la capacidad para eliminar fósforo comparado con otros pastos bajo condiciones hidropónicas.

4.1.1.6. NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL

El cuadro 4.6., refleja valores de solidos suspendidos totales para cada uno de los tratamientos en los diferentes días en que duró el experimento, ver cuadro (N°1 del anexo 2).

Cuadro 4.6. Variación de Nitrógeno total Kjeldahl en los días de tratamiento

Tratamientos	Unidades	Días de tratamiento		
		8	15	22
A1	mg/l	0,32±0,006	0,26±0,006	0,23±0,010
A2	mg/l	0,31±0,006	0,20±0,010	0,18±0,006
A3	mg/l	0,31±0,006	0,18±0,006	0,13±0,012
Testigo	mg/l	0,32±0,006	0,27±0,015	0,24±0,012

NOTA: mean±SD

Fuente: Los autores

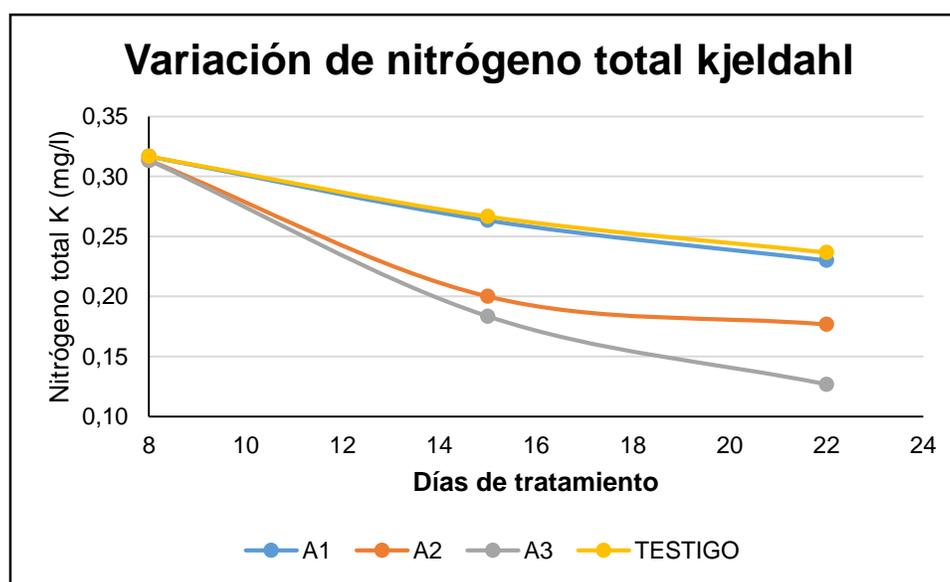


Gráfico 0.5. Variación de Nitrógeno Total Kjeldahl (Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/l) vs Días de tratamiento)

A través del gráfico 4.5., se muestran una disminución considerable del nitrógeno en los días en que fue aplicado el proceso de tratamiento, precisamente unos de los tratamientos que mejor comportamiento fue A3 con rangos de 0,31 mg/l hasta los 0,13 mg/l, mientras que para A2, A1 y el testigo se obtuvieron rangos de 0,31 mg/l a 0,18 mg/l; 0,32 mg/l a 0,23 mg/l y 0,32 mg/l a 0,34 mg/l respectivamente ver (anexo 2).

Los mejores datos de eficiencia de remoción obtenidos para este parámetro se lo atribuyen a A3 con un porcentaje de 59,54% a diferencia de A2 que tuvo valores de 43,62% y A1 con 27,35 %, por otro lado, el tratamiento A4 (testigo) con 25,27% de remoción ver (anexo 3, cuadro 3.1). de acuerdo con Headley y Tanner (2006) el pasto Vetiver ha mostrado la capacidad de purificar el agua gracias a un sistema extenso de raíces que proporciona una gran superficie para el crecimiento de microorganismos, los cuales intervienen en las transformaciones de nitrógeno total Kjeldahl en diferentes formas biológicamente útiles y la absorción de fósforo.

4.2. ANÁLISIS LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO

A partir de los valores medidos se determinó la eficiencia de los tratamientos, al día 21 mediante la fórmula (3.1), obteniendo los siguientes valores:

Cuadro 4.7. Eficiencia de los tratamientos

Tratamiento	Unidades	%SST	%DBO5	%Fósforo	%Nitrógeno
A1	mg/l	16,90±2,98	41,71±0,23	16,29±1,50	27,35±3,40
A2	mg/l	21,57±7,81	54,82±4,23	37,62±3,08	43,62±1,62
A3	mg/l	45,40±2,60	70,75±0,33	50,81±0,78	59,54±4,12
Testigo	mg/l	14,42±1,34	40,44±0,27	15,12±0,98	26,04±3,61

Fuente: Los autores

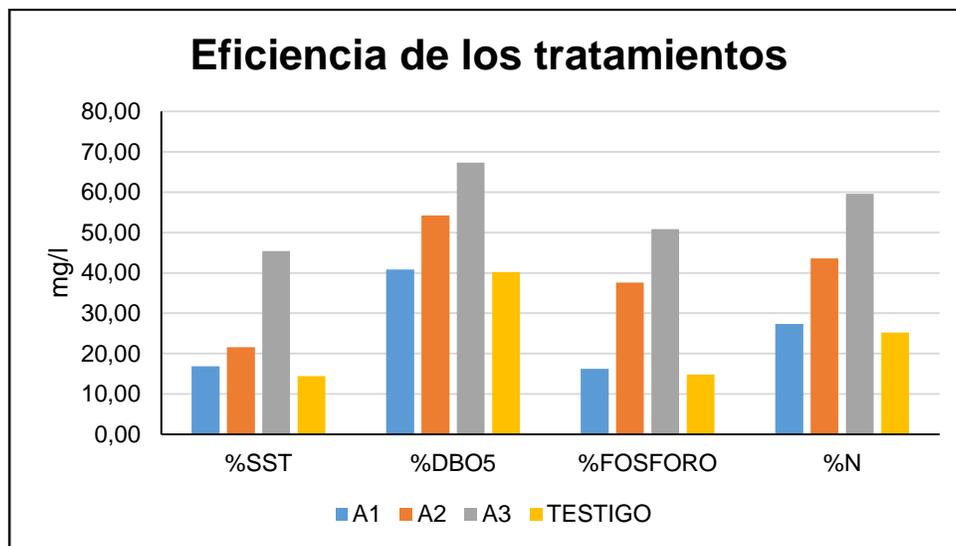


Gráfico 0.6. Eficiencia de los tratamientos

En el cuadro 4.6., podemos observar los promedios porcentuales para cada uno de los tratamientos y sus respectivos parámetros. Para los sólidos suspendidos totales se obtuvieron valores de 16,90% para A1; A2 con 21,57%; A3 con 45,42% a diferencia del testigo que influyo en un porcentaje menor en la remoción de este parámetro.

El parámetro de la DBO₅ presentó valores de 41,71% para el tratamiento A1; A2 con 54,82%; A3 con 70,75% de remoción caso contrario del testigo con un 40,44% de remoción. Otro de los parámetros monitoreados fue el fósforo con datos de 16,29% para A1; 37,69% para el tratamiento A2; A3 con 50,81%, mientras que el testigo con valores por debajo del resto de tratamientos con 15,12%. El nitrógeno expuso datos de 27,35% para A1; 43,62% para A2; y 59,54% para A3; el testigo obtuvo valores de 26,04%.

En todos los parámetros el tratamiento con mejor rendimiento en porcentaje de remoción fue A3 como se lo puede observar en el gráfico 4.6.; esto se lo puede atribuir al número de esquejes en cada tratamiento ya que el testigo se mantuvo por debajo de todos los demás tratamientos, ver (anexo 3, cuadro 3.1)

4.2.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Mediante análisis de los datos en el software SPSS, se aplicó la prueba de Shapiro-Willks (ver anexo 4, tabla 4.1) para establecer la normalidad de los datos, la cual demostró una distribución normal de los datos de los parámetros monitoreados (SST, pH, DBO5, F, NTK), al ser su significancia mayor a 0,05.

Mediante la prueba de homogeneidad de varianza se pudo determinar que al menos dos grupos presentan diferencias significativas, los cuales corresponden a los sólidos suspendidos totales y el nitrógeno (ver anexo 4, tabla 4.1)

Cuadro 4.8. Anova de los porcentajes de remoción de los tratamientos

		SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
SST	INTER-GRUPOS	1814,057	3	604,686	30,875	,000
	INTRA-GRUPOS	156,680	8	19,585		
	TOTAL	1970,737	11			
DBO5	INTER-GRUPOS	2302,191	3	767,397	74,693	,000
	INTRA-GRUPOS	82,192	8	10,274		
	TOTAL	2384,383	11			
FÓSFORO	INTER-GRUPOS	1486,120	3	495,373	793,486	,000
	INTRA-GRUPOS	4,994	8	,624		
	TOTAL	1491,114	11			
NITROGENO	INTER-GRUPOS	2726,983	3	908,994	285,997	,000
	INTRA-GRUPOS	25,427	8	3,178		
	TOTAL	2752,410	11			

Fuente: SPSS

El cuadro 4.8, indica el anova realizado a los porcentajes de remoción de los tratamientos, mismos que muestran una diferencia significativa entre las medias de los grupos, ya que el nivel de significancia está por debajo de 0,05 por lo tanto se procederá a realizar el análisis de Tukey (anexo 4, cuadro 4.3) para determinar la diferencia entre los pares específicos de grupos, determinar si son estadísticamente significativa y estimar qué tan diferentes son las medias.

Cuadro 4.9. Análisis Tukey, subconjuntos homogéneos para los sólidos suspendidos totales

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Testigo	3	14,4133	
A1	3	16,9033	
A2	3	21,5700	
A3	3		45,3967
SIG.		,271	1,000

Fuente: SPSS

El cuadro 4.9., muestra el análisis de Tukey para los sólidos suspendidos totales y nos indica que existen dos subconjuntos. En los cuales en el número uno, se encuentran los tratamientos A1, A2 y el testigo con medias muy parecidas y un valor de significancia del 0,271, mientras que en subconjunto dos se posicionan el tratamiento A3 con media independiente del resto de tratamientos. Por lo tanto según estos datos, el mejor tratamiento en este parámetro es A3 con un 45% de remoción, para mayor información ver (anexo 4, cuadro 4.3).

Cuadro 4.10. Análisis Tukey, subconjuntos homogéneos para DBO₅

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Testigo	3	25,2733		
A1	3	27,3533		
A2	3		43,6167	
A3	3			59,5433
Sig.		,855	1,000	1,000

Fuente: SPSS

En el cuadro 4.11., muestra La prueba de Tukey para el parámetro de la DBO₅, la cual indica la presencia de tres subconjuntos de medias, en las cuales en el número uno se encuentran el testigo y el tratamiento A1, con un nivel de significancia de 0,855; seguidamente en el subconjunto dos y tres se posicionan A2 Y A3 respectivamente con medias diferentes al testigo y a A1, por lo tanto, A2 y A3 tuvieron un buen desempeño en este parámetro, para mayor información ver (anexo 4, cuadro 4.3).

Cuadro 4.11. Análisis Tukey, subconjuntos homogéneos para el Fósforo

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Testigo	3	40,2300		
A1	3	40,8033		
A2	3		54,1867	
A3	3			67,3033
Sig.		,811	1,000	1,000

Fuente: SPSS

Mediante el cuadro 4.11, se puede observar que para el parámetro del fósforo, existen tres subconjuntos de Tukey, en el subconjunto uno se encuentran el testigo y el tratamiento A1 los cuales presentan medias semejantes con un nivel de significancia de 0,81, caso contrario del subconjunto dos que comprende a A2 y seguidamente el subconjunto tres acogiendo a A3, por lo tanto para este parámetro se puede concluir a simple vista que A2 y A3 tuvieron un mejor desempeño comparado con A1 y el testigo, ver (anexo 4, cuadro 4.3).

Cuadro 4.12. Análisis Tukey, subconjuntos homogéneos para el Nitrógeno

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Testigo	3	14,8467		
A1	3	16,2867		
A2	3		37,6267	
A3	3			50,8133
Sig.		,760	1,000	1,000

Fuente: SPSS

El cuadro 4.12., describe los valores del análisis de Tukey realizado para este parámetro; consta de tres subconjuntos, el número uno acoge al testigo y al tratamiento A1 debido a que tiene medias semejantes con un nivel de significancia de 0,70; en el subconjunto dos se encuentra A2 y seguidamente en el subconjunto tres con una media de 50,81 A3, por lo tanto a través de a evidencia presentada se puede decir que para este parámetro los tratamientos con mejor rendimiento fueron A2 y A3 para mayor información ver (anexo 5).

Por lo tanto, después de analizar los valores obtenidos para cada uno de los tratamientos con respecto a los parámetros medidos, se aduce que los tratamientos que mejor comportamiento tuvieron en el proceso de remoción según Tukey fueron A3 y A2 a diferencia de A1 y el testigo que se mantuvieron por debajo de los dos tratamientos sobresalientes; este comportamiento lo podemos atribuir al número de esquejes aplicados a cada tratamiento. Esto concuerda con Torres *et ál.* (2010), investigación donde evaluaron la planta vetiver para la absorción de contaminantes de las aguas residuales de una atunera, se evaluó la capacidad de las raíces y el

tallo para la absorción de contaminantes, lo que les llevo a la conclusión, que en donde mayor cantidad de contaminantes se absorben es en las raíces, ya que una de las características de la planta vetiver es el gran tamaño de su sistema radicular, por lo tanto los tratamientos con mayor número de esquejes fueron los que mejor rendimiento obtuvieron.

4.3. DETERMINACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL EXPERIMENTO.

4.3.1.1 DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Cuadro 0.13. Ficha de costo de la materia prima

MATERIAS PRIMAS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$/UNIDAD)	COSTO TOTAL (\$)
PASTO VETIVER	200	0,30	60,00
RECIPIESTES	12	5,00	60,00
ESPUMA FLEX	12	1,50	18,00
COSTO TOTAL DE MP (\$)			138,00

Fuente: Los autores

En el cuadro 4.13, se muestran los precios de los materiales utilizados, dando un valor total de \$138 dólares, cabe enfatizar que, para el experimento se utilizó agua residual de la industria de almidón “Pedro Alcívar” la cual no tuvo valor alguno ya que estas aguas luego de la elaboración del almidón son descargadas a la fuente de río más cercana sin ningún uso por tal motivo fue fácil adquirirla.

4.3.1.2 DETERMINACIÓN DE LA MANO DE OBRA

Cuadro 0.14. Ficha costos de mano de obra

TRABAJADORES	HORAS TOTALES DE TRABAJO	SALARIO/HORAS	TOTAL (\$)
OPERARIO 1	10,00	5,00	50,00
OPERARIO2	10,00	5,00	50,00
COSTO TOTAL DE MDO (\$)			100,00

Fuente: Los autores

En el cuadro 4.14 se observan los detalles de los costos de la mano de obra implementada en la elaboración y mantenimiento del experimento, el cual durante

de 20 días tuvo trabajos de monitoreo y mantenimiento, en total fueron 20 horas de trabajo repartidas entre dos operadores con un salario por hora de \$5, dando como total \$100 en costos de mano de obra.

4.3.1.3 COSTOS INDIRECTOS DEL EXPERIMENTO

Cuadro 0.15. Costos indirectos del experimento

DETALLE	CANTIDAD	TIPO	VALOR U (\$)	VALOR
BOMBAS DE AIREACIÓN	3	FIJO	35,00	105,00
MANGUERAS	12 metros	FIJO	0,75	9,00
COSTO TOTAL DE MP (\$)				114,00

Fuente: Los autores

El cuadro 4.16 describe los valores obtenidos al identificar los gastos indirectos de la implementación del experimento, los cuales fueron 3 bombas de aireación con un valor de \$105, y mangueras con un valor de \$9; dichos materiales que se utilizaron para dotar de oxígeno a los tratamientos.

4.3.1.4 INFORME DE COSTOS DEL EXPERIMENTO.

Cuadro 0.16. Informe de costos del experimento.

DETALLES	COSTOS	MATERIALES	REPETICIONES	TIPO	VALOR UNITARIO(\$)	VALOR TOTAL(\$)
A1(4 ESQUEJES)	MATERIA PRIMA	PASTO VETIVER	3	VARIABLE	0,30	3,60
		TACHOS VOLUMÉTRICOS	3	FIJO	5,00	15,00
		SPUMA FLEX	3	FIJO	1,50	4,50
	COSTOS INDIRECTOS	MANGUERAS	3	FIJO	0,75	2,25
		AIREADORES	3	FIJO	8,75	26,25
	MANO DE OBRA		3	FIJO	8,33	25,00
SUMATORIA TOTAL DE COSTOS EN A1						76,6
A2(12 ESQUEJES)	MATERIA PRIMA	PASTO VETIVER	3	VARIABLE		10,80
		TACHOS VOLUMÉTRICOS	3	FIJO	5,00	15,00
		SPUMA FLEX	3	FIJO	1,50	4,50
	COSTOS INDIRECTIS	MANGUERAS	3	FIJO	0,75	2,25
		AIREADORES	3	FIJO	8,75	26,25
	MANO DE OBRA		3	FIJO	8,33	25,00

SUMATORIA TOTALDE COSTOS EN A2						83,80
A3(25 ESQUEJES)		PASTO VETIVER	3	VARIABLE		22,50
	MATERIA PRIMA	TACHOS VOLUMÉTRICOS	3	FIJO	5,00	15,00
		SPUMA FLEX	3	FIJO	1,50	4,50
	COSTOS INDIRECTOS	MANGUERAS	3	FIJO	0,75	2,25
		AIREADORES	3	FIJO	8,75	26,25
	MANO DE OBRA		3	FIJO	8,33	25,00
SUMATORIA TOTAL DE COSTOS EN A3						95,5
TESTIGO(SIN ESQUEJES)		TACHOS VOLUMÉTRICOS	3	FIJO	5,00	15,00
	MATERIA PRIMA	SPUMA FLEX	3	FIJO	1,50	4,50
	COSTOS INDIRECTOS	MANGUERAS	3	FIJO	0,75	2,25
		AIREADORES	3	FIJO	8,75	26,25
		MANO DE OBRA		3	FIJO	8,33
SUMATORIA TOTAL DE COSTOS EN EL TESTIGO(\$)						73,00
SUMATORIA TOTAL DE TRATAMIENTOS (\$)						328,9

Fuente: Los autores

La tabla 4.16 muestra los costos por cada tratamiento generados en la implementación del experimento, cada tratamiento tiene 3 repeticiones por lo tanto los valores de la materia prima, costos indirectos y mano de obra se multiplicarán por 3. En el tratamiento A1 se presencian valores de \$76,6 así mismo para el resto de tratamientos; en A2 se mostraron costos de \$83,8; A3 con \$95,5 y el testigo que alcanzo un costo de \$73. A pesar de que A1 y el testigo fueron los tratamientos con un menor costo de operación, fueron A2 y A3 los que mejores resultados tuvieron al momento de la remoción de contaminantes, pero fue A3 quien destacó del resto de tratamiento, esto se lo atribuimos al número de esquejes presentes.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los datos obtenidos del análisis físico-químico del agua residual de la industria de almidón muestran DBO₅ (760mg/l), fósforo (20,47mg/l), SST (0,69mg/l); pH (4,1); y el del nitrógeno total Kjeldahl en (0,30mg/l), estos valores indican que los dos primeros resultados se encuentran por encima de los de los límites permisibles; mientras que los demás datos están por debajo de los valores establecidos en la normativa ecuatoriana (TULSMA Libro VI, Anexo 1).
- El tratamiento A3 fue el que obtuvo mayor porcentaje de remoción de los parámetros del SST% fue de 45,40%, DBO₅ 67,30%, fósforo 50,81%, nitrógeno total Kjeldahl 59,54%, el mismo que constaba de 25 esquejes a más vetiver, mayor es su eficiencia.
- El tratamiento de aguas residuales con vetiver, que presentó un costo total de \$ 328,9; el tratamiento A1 con un valor de \$75,50; A2 con \$83,8; A3 con \$95,5 y el testigo con \$73 en la investigación se opta por el tratamiento A3 a pesar de que su costo sea mayor demostró mayor eficiencia en la remoción de estos contaminantes atribuyéndose lo acontecido al número de esquejes (25 esquejes)

5.2. RECOMENDACIONES

- Es necesario para realizar análisis físicos-químicos hacer la toma de muestra compuesta en las mañanas cuando se empieza la descarga del agua residual de la industria de almidón, debido a que en las tardes el agua del almidón se encuentra en estado de sedimentación
- Se recomienda adquirir esquejes con el tallo bien desarrollado para evitar la mortalidad de ellos y así realizar una buena adaptación del vetiver al medio acuático.
- Aplicar tratamiento A3 (25 esquejes) dado que obtuvo una mayor eficiencia remoción de contaminantes alta dentro de los 4 tratamientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Baird, C. (2004). Química ambiental. Barcelona, España: Reverté S.A. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=bgUaHUqGPYIC&pg=PA491&dq=Qu%C3%ADmica+ambiental.+Contaminaci%C3%B3n+de+aguas+superficiales+por+fosfatos.&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj2kYO2g4_tAhWCwVkkKHWhxDDYQ6AEwAHoECAEQAg#v=onepage&q=Qu%C3%ADmica%20ambiental.%20Contam
- Barba, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Recuperado el mayo de 25 de 2019, de <https://docplayer.es/5213737-Universidad-del-valle.html>
- Boqué, R., & Maroto, A. (2004). El análisis de la varianza (ANOVA) 1. Comparación de múltiples poblaciones. *Téc. Lab*, 294, 680-683.
- Boonsong, K., y Chansiri, M. (2008). Domestic Wastewater Treatment using Vetiver Grass Cultivated with Floating Platform Technique. *AU J.T.*, 73-80. Obtenido de [http://www.journal.au.edu/au techno/2008/oct08/12\(2\)_Article01.pdf](http://www.journal.au.edu/au techno/2008/oct08/12(2)_Article01.pdf)
- Caicedo Insuasty, R. E. (2014). Presupuesto de Materia Prima Directa. Costos y Presupuestos.
- Caldera, Y., Gutiérrez, E., Luengo, M., Chávez, J., y Ruesga, L. (2010). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de industria avícola. *Revista Científica Universidad del Zulia Venezuela*, 20(4), 409-416. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-22592010000400011&script=sci_abstract
- Castañeda, M., Cabrera, A., & Navarro, Y. (2010). Procedimiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS. Porto Alegre: Conselho Editorial. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Alberto_Cabrera3/publication/261704346_Procesamiento_de_datos_y_analisis_estadisticos_utilizando_SPSS_Un_libro_practico_para_investigadores_y_administradores_educativos/links/00b4953510e4a0dd01000000/Procesamiento-de-d
- Castrillón Trujillo, V. K., & Navarro Aguirre, L. J. (2017). Evaluación de la Fitorremediación como alternativa para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con mercurio producto de la minería aurífera (artesanal y pequeña escala).
- Chuchón, S., y Aybar, C. (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales "La Totorá", Ayacucho, Perú. *Ecol. apl.*, 7(1-2). Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162008000100020

- Covington, A., Bates, R., & Durst, R. (1985). Definition of pH scales, standard reference values, measurement of pH and related terminology. *Pure & Appl. Chem*, 57(3), 531-542. Obtenido de <http://publications.iupac.org/pac/1985/pdf/5703x0531.pdf>
- De la Cruz, C., Ramos, S. A., y López, S. (2019). Efecto de la adición de ácidos orgánicos sobre la bioacumulación de Plomo, Talio y Vanadio en *Chrysopogon zizanioides* creciendo sobre suelos contaminados de un relleno sanitario. *Nova scientia*, 10(21), 403-422. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052018000200403
- De la Vega, M. (2012). *Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Contribución a la gestión y desarrollo social.* (Primera ed.). México: REFUGIA. Obtenido de <http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III.%20Desarrollo%20Social/Agua%20y%20Saneamiento/Eficiencia%20en%20Plantas%20de%20Tratamiento%20de%20Aguas%20Residuales.pdf>
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.
- Deloya, A. (2006). *Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales.* Obtenido de <file:///C:/Users/Josselyn/Downloads/Dialnet-MetodosDeAnalisisFisicosYEspectrofometricosParaEIA-4835509.pdf>
- Eltit, D., Gómez, A. C., & Olea, R. (2002). *Mano de obra.* Santiago de Chile: Seix Barral.
- Erazo, E. (2017). *Recursos naturales. Aguas y páramos.* Obtenido de <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/#/inicio/noticias/view/59b6fcb783ba882b7f922b18>
- Escobar, D., y Orduña, L. (2014). *Viabilidad de la implementación del pasto vetiver para la estabilización de taludes en Colombia período I, AÑO 2014.* Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1588/1/documento%20de%20trabajo%20de%20investigaci%C3%B3n.pdf>
- Fernández, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., y Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.* Madrid.: CEIM. Obtenido de https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

- García, J. (2018). Costos modalidad órdenes y producción. (En Línea). Consultado el 22 de octubre 2019. Formato PDF. Disponible en <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7077/1/LIBRO%20Costos.pdf>
- Hadada, H. (2006). Macrophyte growth in a pilot scale constructed wetland for industrial wastewater treatment. *Chemosphere*, 63, 1744-1753. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004565350501088X>
- Headley, T., & Tanner, C. (2006). Application of Floating Wetlands for Enhanced Stormwater Treatment: A Review. Hamilton, Nueva Zelanda: NIWA.
- Howeler, R., Lutaladio, N., & Graeme, T. (2013). Save and grow. Cassava. A guide to sustainable production intensification. Roma: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3278e.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1998). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:1998. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación. Primera edición.
- Intriago, M., y Muñoz, G. (2014). Ingeniero en comercio y finanzas internacionales bilingüe. Tesis de grado. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/2257>
- Izunza, J. (2014). Meteorología descriptiva. Obtenido de <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap3.pdf>
- Kattan, C., Mena, Z., Amaya, L., Aguirre, J., y Peñate, Y. (2017). Informe de la calidad del agua de los ríos de El Salvador. San Salvador: MARN. Obtenido de <https://www.marn.gob.sv/descargas/Documentos/2018/Informe%20de%20la%20calidad%20de%20agua%202018.pdf>
- Lecaros, G., y Viale, A. (2008). Manual de estadísticas Ambientales Andinas. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina. Obtenido de http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual_estadisticas_ambientales.pdf
- Llopis, J. (2013). La estadística: una orquesta hecha instrumento. Obtenido de <https://jlllopisperez.com/2013/01/28/test-hsd-de-tukey/>
- Ministerio del Ambiente (MAE). Términos básicos ambientales. (En línea). Consultado el 11 de agosto del 2018. Formato disponible <http://suia.ambiente.gob.ec/>
- Martelo, J., y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>

- Martínez, G., y Nemerow, N. (1977). Aguas residuales industriales: teorías , aplicaciones y tratamiento. (Primera ed.). Madrid: H. Blume Ediciones. Obtenido de https://books.google.com.ec/books/about/Aguas_residuales_industriales.html?id=heNwPgAACAAJ&redir_esc=y
- Maure, T. (2013). Manual de muestreo. Protocolo de muestreo, transporte y conservación demuestras de agua con fines múltiples. CATHALAC.
- Mendoza Guerra, Y. I., Castro Echavez, F. L., Marín Leal, J. C., & Hedwig Behling, E. (2016). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 39(2), 071-079.
- Merino, M. (2017). Mecanismos de remoción de materia orgánica y nutrientes en un sistema de tratamiento pasivo de aguas residuales municipales. Tesis doctoral. Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco, A. C. Obtenido de <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/422/1/Mar%C3%ADa%20de%20la%20Luz%20Merino%20Sol%C3%ADs.pdf>
- Moncada, J. (2020). Métodos estadísticos utilizados en las ciencias del movimiento humano. Revista Educación. doi:DOI 10.15517/REVEDU.V28I2.2265
- Montes de Oca, E. (2006). "Evaluación de la variabilidad diurna de las fracciones de la DQO del ASM1 en aguas residuales municipales de Toluca ". Tesis de grado. Universidad autónoma del estado de México . Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/94529>
- Muñoz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. Tesis de grado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Obtenido de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/?sequence=1>
- Navarro, J., y Vargas, J. (2015). Eficiencia relativa del diseño de bloques completos al azar para ensayos de arroz en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, XVI(34), 1-9. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/666/66643073004.pdf>
- Oña, B., Hurtado, K., Ulloa, I., & Jadan, K. (2017). *Metodología de enseñanza del sistema de costos por proceso*. Cotopaxi: Universidad Técnica de Cotopaxi. Obtenido de https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/download/865/pdf_630/3428

- Orihuela, J. (2007). Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) . Obtenido de http://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf
- Orozco, V. (2016). Fundamentos de costo. (En Línea). Consultado el 22 de octubre 2019. Formato PDF. Disponible en <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/7438/Fundamentos%20de%20Costos%20746.pdf;jsessionid=06E17A7592B42DA16CDA77F417DCA0C9.jvm1?sequence=1>
- Pantoja, C. (2017). Fundamentos y técnicas de los costos. (En Línea). Consultado el 22 de octubre 2019. Formato PDF. Disponible en http://www.unilibre.edu.co/cartagena/pdf/investigacion/libros/ceac/FUNDAMENTOS_Y_TECNICAS%20DE%20COSTO.pdf
- Pérez, A., Torres, P., y Silva, J. (2009). Tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Optimización de variables ambientales y operacionales. *Dyna*, 139-148. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n160/a13v76n160.pdf>
- Pérez, R., Riveiro, F., Jiménez, M., Manganiello, L., Vega, C., Cova, R., y Moreno, J. (2017). Evaluación de la calidad del agua en un humedal de agua salada del Caribe. *Revista INGENIERÍA UC*, 24(3), 417-427. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/707/70754692015.pdf>
- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Ramos, R., Sepúlveda, R., y Villalobos, F. (2003). *El agua en el medio ambiente, muestreo y análisis*. México: Editorial Plaza y Valdés.
- Ramírez, M. (2019). Clasificación de los costos. (En Línea). Consultado el 22 de octubre 2019. Formato PDF. Disponible en <https://www.uv.mx/personal/alsalas/files/2013/02/CLASIFICACION-DE-LOS-COSTOS.pdf>
- Ridanovic, L., Ridanovic, S., Jurica, D., & Spasojevic, P. (2010). Evaluation of Water Temperature and Dissolved Oxygen Regimes in River Neretva. *BALWOIS*, 1-10. Obtenido de http://balwois.com/wp-content/uploads/old_proc/ffp-1520.pdf
- Ríos, C., Gutiérrez, L., & Aizaki, M. (2011). Case study on the use of constructed wetlands for the tratament of wasterwater an alternative for petroleum industry. *Dyna*, 78(170), 125-134. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2528878>
- Rocha, E. (2010). *Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas*. Chihuahua: Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtenido de

<https://isbn.cloud/9786077691563/ingenieria-de-tratamiento-y-accionamiento-de-aguas/>

- Rodríguez, J. P., Gómez, E., Garavito, L., y López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 1(1), 59-68.
- Rodríguez, R. (2016). *Calor y Temperatura*. Obtenido de https://www.apuntesmareaverde.org.es/grupos/cn/Temas_2/T9_2ESO_Calor_Temperatura_v2016.pdf
- Rojas, R. (2002). Curso Internacional "Gestión integral de tratamiento de aguas residuales" 25 al 27 de setiembre de 2002. Conferencia. *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>
- Rojo, J. (2016). *Primeros paso en SPSS*. Lima: Laboratorio de estadística-CSIC. Obtenido de http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/web_UAE/tutoriales/PDF/SPSSIniciacion.pdf
- Ruiz, J., Bravo, M., y Loeza, G. (2010). Cubiertas vegetales y barreras vivas: tecnologías con potencial para reducir la erosión en Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 19(1), 89-95.
- Saldaña, G. (2017). *Biorremediación de residuos generados por el análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) en el laboratorio UTE Santo Domingo*. Tesis de grado. Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo. Obtenido de http://192.188.51.77/bitstream/123456789/20374/1/9537_1.pdf
- Sandoval, V., y Ruiz, R. (2006). El rol de los recursos locales en la evaluación de la agroindustria rural del almidon agrio de yuca en el departamento de cauca, Colombia. *Agroalim*, 11(22). Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542006000100004
- Santana, X., y Santos, J. (2016). *Eficiencia del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río muerto, cantón Manta*. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/281>
- Sarti, A., Sakamoto, I., Amancio, M., Zaiat, M., y Foresti, E. (2006). *Tratamiento de esgoto sanitario utilizando reatores anaeróbios operados em bateladas*

- sequenciais (escala piloto). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 11(1), 73-82. Obtenido de <https://www.scielo.br/pdf/esa/v11n1/29140.pdf>
- Sawyer, C., McCarty, P., y Parkin, G. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. McGraw Hill.
- Scavo, M., Rodríguez, M., y Luque, O. (2004). Estudio de un sistema de aguas residuales complementario, con pasto Vetiver provenientes de una planta de producción de gaseosas. Tesis de maestría. Universidad Central de Venezuela. Obtenido de <https://www.vetiver.org/ICV4pdfs/BA17es.pdf>
- Sinchiguano, B. E. O., Garcia, K. D. R. H., Mendez, C. I. U., & Solis, K. D. P. J. (2017). Metodología de enseñanza del sistema de costos por proceso. *Revista Publicando*, 4(13 (2)), 296-315.
- Terrádez, M., & Juan, A. A. (2003). Análisis de la varianza (ANOVA). línea]. Disponible en: <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/ANOVA.pdf>. [Último acceso: 07 08 2014].
- Torres, S. A. (1996). *Contabilidad de costos*.
- Torres, P., Pérez, A., Cajigas, A., Jurado, C., y Ortíz, N. (2007). Selección de inóculos para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*(6), 105-111. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231120826010.pdf>
- Torres, P., Pérez, A., Marmolejo, L., Ordóñez, J. A., y García, R. (2010). Una mirada a la agroindustria de extracción de almidón de yuca, desde la estandarización de procesos. *Revista EIA*(14), 23-38.
- Torres, D., Cumana, d., Torrealba, O., y Posada, D. (2010). Uso del vetiver para la fitorremediación de cromo en lodos residuales de una tenería. Guadalajara: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v1n2/v1n2a5.pdf>
- Torres, P., Rodríguez, J., y 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*(23). Obtenido de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7393>
- Truong, P., y Danh, L. (2015). *El Sistema Vetiver Para Mejorar La Calidad Agua : Prevencion y Tratamiento de Aguas y Suelos Contaminados (Segunda ed.)*. Red colaborativa de Permacultura La Margarita.
- Truong & Hart, H. (2001). *Vetiver System for Wastewater Treatment*. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin N° 2001/2. (En línea). Consultado, 21 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.com/>

- Texto Unificado De Legislacion Secundaria Del Ministerio Del Ambiente(TULSMA). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua(En Linea).Consultado el 25 de mayo 2019. Formato PDF. Disponible en <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). (2017). Aguas residuales el recurso desaprovechado. Inexploité e Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. París: UNESCO. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Vázquez, E., y Rojas, T. (2016). pH: Teoría y 232 problemas. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>
- Vivanco, J. (2012). Proyecto de factibilidad para la producción y comercialización de almidón de yuca a Estados Unidos; periodo 2011-2020". Tesis de grado. Universidad Tecnológica Equinoccial. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/6758/46255_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Wong, E. (2010). ¿Después de un análisis de variancia?qué? Ejemplos en ciencia de alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, 21. Doi:doi 10.15517/am.v21i2.4899

ANEXOS

ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto 1. Toma de muestras



Foto 2. Adquisición del pasto Vetiver en el sustrato.



Foto 3. Plantación del pasto Vetiver en el sustrato.



Foto 4. Preparación de las unidades experimentales.



Foto 6. Monitoreos periódicos.





Foto 7. Resultados del agua tratada.

ANEXO 2.

Cuadro N°1. Base de datos del control de parámetros en 8,15 y 22 días, con sus respectivos promedios

TRATAMIENTO		8 DÍAS					15 DÍAS					22 DÍAS				
	R	SS T	pH	DB O5	F	NT K	SS T	pH	DB O5	F	NT K	SS T	pH	DBO 5	F	NT K
A1	A1	0,6	4,0	748	20,	0,3	0,6	5,5	665	18,	0,2	0,5	6	445	17,	0,2
	R1	9	5		5	2	8			2	7	5			5	4
	A1	0,6	4	750	20,	0,3	0,6	5	661	18	0,2	0,5	6,2	442	16,	0,2
A2	R2	8			5	2	5			6	6	8			9	2
	A1	0,7	4,0	747	20,	0,3	0,6	4,9	660	18	0,2	0,5	5,9	442	17	0,2
	R3	4	4		4	1	4			6	6	9			17	3
A3	A2	0,7	3,9	720	20,	0,3	0,6	5,3	570	17,	0,2	0,5	6,8	340	12,	0,1
	R1	9	9		5	1	6			2	1	9			3	8
	A2	0,6	4	722	20,	0,3	0,5	5,3	569	16,	0,2	0,4	6,7	320	13,	0,1
A3	R2	9			5	2	9			9	0,2	8			5	8
	A2	0,7	4,0	719	20,	0,3	0,5	5,2	569	16,	0,1	0,5	6,7	330	12,	0,1
	R3	5	5		4	1	7			5	9	7			5	7
TESTIGO	A3	0,6	4,0	680	20,	0,3	0,4	5,4	450	15,	0,1	0,3	7,6	220	10,	0,1
	R1	9	5		5	1	4			2	9	6			2	4
	A3	0,6	4,0	681	20,	0,3	0,4	5,4	447	15	0,1	0,3	7,5	225	9,9	0,1
TESTIGO	R2	8	5		5	2	3			6	8	9			9,9	2
	A3	0,7	4,0	679	20,	0,3	0,4	5,4	446	15,	0,1	0,3	7,4	222	10,	0,1
	R3	4	4		4	1	1			1	8	8			1	2
TESTIGO	A4	0,6	4,0	755	20,	0,3	0,6	5	667	18,	0,2	0,6	5,4	455	17,	0,2
	R1	9	5		5	2	9			3	8	6			6	5
	A4	0,7	4,0	758	20,	0,3	0,6	5,1	666	18,	0,2	0,5	5,2	452	17,	0,2
TESTIGO	R2	5	5		5	1	7			2	7	9			4	3
	A4	0,6	4,0	759	20,	0,3	0,6	5,2	665	18	0,2	0,5	5	451	17,	0,2
	R3	9	4		3	2	5			5	5	9			2	3
PROMEDIOS DE LAS REPETICIONES DE CADA TRATAMIENTO																
A1		0,6	4,0	748,	20,	0,3	0,6	5,1	662	18,	0,2	0,5	6,0	443	17,	0,2
A2		9	3	33	47	2	6	3	662	07	6	7	3	443	13	3
A3		0,7	4,0	720,	20,	0,3	0,5	5,2	569,	16,	0,2	0,5	6,7	330	12,	0,1
TESTIGO		0	1	33	47	1	9	7	33	87	0	5	3	330	77	8
A3		0,6	4,0	680,	20,	0,3	0,4	5,4	447,	15,	0,1	0,3	7,5	222,	10,	0,1
TESTIGO		9	5	00	47	1	3	4	67	10	8	8	0	33	07	3
TESTIGO		0,6	4,0	753,	20,	0,3	0,6	5,1	666	18,	0,2	0,5	5,2	452,	17,	0,2
		9	3	33	43	2	7	0	666	17	7	9	0	67	40	4
DESVIACIÓN ESTANDAR DE LOS PROMEDIOS DE LAS REPETICIONES DE CADA TRATAMIENT																
A1		0,0	0,0	1,52	0,0	0,0	0,0	0,3	2,64	0,1	0,0	0,0	0,1	1,73	0,3	0,0
A2		10	26	8	58	06	21	21	6	15	06	21	53	2	21	10
A3		0,0	0,0	1,52	0,0	0,0	0,0	0,0	0,57	0,3	0,0	0,0	0,0	10,0	0,6	0,0
TESTIGO		06	32	8	58	06	15	64	7	51	10	59	58	00	43	06
A3		0,0	0,0	1,00	1,0	0,0	0,0	0,0	2,08	0,1	0,0	0,0	0,1	2,51	0,1	0,0
TESTIGO		06	06	0	00	06	15	38	2	00	06	15	00	7	53	12
TESTIGO		0,0	0,0	2,08	2,0	0,0	0,0	0,1	1,00	0,1	0,0	0,0	0,2	2,08	0,2	0,0
		29	06	2	82	06	20	00	0	53	15	20	00	2	00	12

Fuente: Los autores

ANEXO 3.

Cuadro N°2.1. Promedios de los porcentajes de remoción para cada repetición de tratamiento

TRATAMIENTO	SST	DBO5	FÓSFORO	N
A1R1	20,29	41,45	14,63	25,00
A1R2	14,71	41,07	17,56	31,25
A1R3	15,71	40,83	16,67	25,81
PROMEDIOS	16,90±2,98	40,80±0,28	16,29±1,50	27,35±3,40
A2R1	15,71	52,78	40,00	41,94
A2R2	30,43	55,68	34,15	43,75
A2R3	18,57	54,10	38,73	45,16
PROMEDIOS	21,57±7,81	54,19±1,45	37,62±3,08	43,62±3,08
A3R1	47,83	67,65	50,24	54,84
A3R2	42,65	66,96	51,71	62,50
A3R3	45,71	67,30	50,49	61,29
PROMEDIOS	45,40±2,60	67,30±0,34	50,81±0,78	59,54±4,12
TESTIGO	13,04	40,13	14,15	21,88
TESTIGO	15,71	40,53	15,12	28,13
TESTIGO	14,49	40,66	15,27	28,13
PROMEDIOS	14,42±1,34	40,23±0,44	14,85±0,61	25,27±3,16

Fuente: Los autores

ANEXO 4.

Cuadro 2.2. Descriptivos de los promedios de los porcentajes de remoción para cada repetición de tratamiento

DESCRIPTIVOS				
PARÁMETRO	TRATAMIENTO	DESCRIPTIVOS ESTADÍSTICOS	ESTADÍSTICO	ERROR TÍP.
SST	A1	MEDIA	16,9033	1,71776
		MEDIANA	15,7100	
		VARIANZA	8,852	
		DESV. TÍP.	2,97525	
	A2	MEDIA	21,5700	4,50628
		MEDIANA	18,5700	
		VARIANZA	60,920	
		DESV. TÍP.	7,80510	
	A3	MEDIA	45,3967	1,50352
		MEDIANA	45,7100	
		VARIANZA	6,782	
		DESV. TÍP.	2,60418	
	TESTIGO	MEDIA	14,4133	,77172
		MEDIANA	14,4900	
		VARIANZA	1,787	
		DESV. TÍP.	1,33665	
DBO5	A1	MEDIA	27,3533	1,96231
		MEDIANA	25,8100	
		VARIANZA	11,552	
		DESV. TÍP.	3,39883	
	A2	MEDIA	43,6167	,93192
		MEDIANA	43,7500	
		VARIANZA	2,605	
		DESV. TÍP.	1,61414	
	A3	MEDIA	59,5433	2,37747
		MEDIANA	61,2900	
		VARIANZA	16,957	
		DESV. TÍP.	4,11789	
	TESTIGO	MEDIA	25,2733	1,82406
		MEDIANA	25,8100	
		VARIANZA	9,982	
		DESV. TÍP.	3,15937	
FÓSFORO	A1	MEDIA	40,8033	,16221
		MEDIANA	40,8300	
		VARIANZA	,079	
		DESV. TÍP.	,28095	

NITROGENO	A2	MEDIA	54,1867	,83828
		MEDIANA	54,1000	
		VARIANZA	2,108	
		DESV. TÍP.	1,45194	
	A3	MEDIA	67,3033	,19919
		MEDIANA	67,3000	
		VARIANZA	,119	
		DESV. TÍP.	,34501	
	TESTIGO	MEDIA	40,2300	,25239
		MEDIANA	40,3700	
		VARIANZA	,191	
		DESV. TÍP.	,43715	
A1	MEDIA	16,2867	,86726	
	MEDIANA	16,6700		
	VARIANZA	2,256		
	DESV. TÍP.	1,50214		
A2	MEDIA	37,6267	1,77657	
	MEDIANA	38,7300		
	VARIANZA	9,469		
	DESV. TÍP.	3,07711		
A3	MEDIA	50,8133	,45410	
	MEDIANA	50,4900		
	VARIANZA	,619		
	DESV. TÍP.	,78653		
TESTIGO	MEDIA	14,8467	,35101	
	MEDIANA	15,1200		
	VARIANZA	,370		
	DESV TIP	,60797		

Fuente: SPSS

ANEXO 5.

Cuadro 4.1. Prueba de homogeneidad de varianza de los porcentajes de remoción para cada repetición de tratamiento

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
SST	4,775	3	8	,034
FÓSFORO	2,384	3	8	,145
NITROGENO	4,349	3	8	,043
DBO5	1,309	3	8	,337

Fuente: Los autores

Cuadro 4.2. Prueba de Shapiro Wilk de los porcentajes de remoción para cada repetición de tratamiento

	TRATAMIENTOS	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SST	A1	,322	3	.	,879	3	,322
	A2	,316	3	.	,889	3	,352
	A3	,215	3	.	,989	3	,801
	TESTIGO	,190	3	.	,998	3	,905
DBO5	A1	,342	3	.	,845	3	,228
	A2	,200	3	.	,995	3	,863
	A3	,331	3	.	,865	3	,282
	TESTIGO	,234	3	.	,978	3	,718
FÓSFORO	A1	,204	3	.	,993	3	,843
	A2	,190	3	.	,997	3	,901
	A3	,176	3	.	1,000	3	,984
	TESTIGO	,292	3	.	,923	3	,463
NITROGENO	A1	,267	3	.	,951	3	,574
	A2	,307	3	.	,904	3	,397
	A3	,326	3	.	,873	3	,305
	TESTIGO	,340	3	.	,848	3	,236

Fuente: Los autores

ANEXO 6.

Cuadro 4.3. Comparaciones múltiples de Tukey

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTOS	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
SST	A1	A2	-4,66667	3,61340	,592	-16,2381	6,9047
		A3	-28,49333*	3,61340	,000	-40,0647	-16,9219
		TESTIGO	2,49000	3,61340	,898	-9,0814	14,0614
	A2	A1	4,66667	3,61340	,592	-6,9047	16,2381
		A3	-23,82667*	3,61340	,001	-35,3981	-12,2553
		TESTIGO	7,15667	3,61340	,271	-4,4147	18,7281
	A3	A1	28,49333*	3,61340	,000	16,9219	40,0647
		A2	23,82667*	3,61340	,001	12,2553	35,3981
		TESTIGO	30,98333*	3,61340	,000	19,4119	42,5547
	TESTIGO	A1	-2,49000	3,61340	,898	-14,0614	9,0814
		A2	-7,15667	3,61340	,271	-18,7281	4,4147
		A3	-30,98333*	3,61340	,000	-42,5547	-19,4119
DBO5	A1	A2	-16,26333*	2,61713	,001	-24,6443	-7,8824
		A3	-32,19000*	2,61713	,000	-40,5710	-23,8090
		TESTIGO	2,08000	2,61713	,855	-6,3010	10,4610
	A2	A1	16,26333*	2,61713	,001	7,8824	24,6443
		A3	-15,92667*	2,61713	,001	-24,3076	-7,5457
		TESTIGO	18,34333*	2,61713	,001	9,9624	26,7243
	A3	A1	32,19000*	2,61713	,000	23,8090	40,5710
		A2	15,92667*	2,61713	,001	7,5457	24,3076
		TESTIGO	34,27000*	2,61713	,000	25,8890	42,6510
	TESTIGO	A1	-2,08000	2,61713	,855	-10,4610	6,3010
		A2	-18,34333*	2,61713	,001	-26,7243	-9,9624
		A3	-34,27000*	2,61713	,000	-42,6510	-25,8890
FÓSFORO	A1	A2	-13,38333*	,64514	,000	-15,4493	-11,3174
		A3	-26,50000*	,64514	,000	-28,5660	-24,4340
		TESTIGO	,57333	,64514	,811	-1,4926	2,6393
	A2	A1	13,38333*	,64514	,000	11,3174	15,4493
		A3	-13,11667*	,64514	,000	-15,1826	-11,0507
		TESTIGO	13,95667*	,64514	,000	11,8907	16,0226
	A3	A1	26,50000*	,64514	,000	24,4340	28,5660
		A2	13,11667*	,64514	,000	11,0507	15,1826
		TESTIGO	27,07333*	,64514	,000	25,0074	29,1393
	TESTIGO	A1	-,57333	,64514	,811	-2,6393	1,4926
		A2	-13,95667*	,64514	,000	-16,0226	-11,8907
		A3	-27,07333*	,64514	,000	-29,1393	-25,0074
NITROGENO	A1	A2	-21,34000*	1,45564	,000	-26,0015	-16,6785
		A3	-34,52667*	1,45564	,000	-39,1881	-29,8652
	A2	TESTIGO	1,44000	1,45564	,760	-3,2215	6,1015
		A1	21,34000*	1,45564	,000	16,6785	26,0015
A3	A2	-13,18667*	1,45564	,000	-17,8481	-8,5252	
	TESTIGO	22,78000*	1,45564	,000	18,1185	27,4415	

	A1	34,52667*	1,45564	,000	29,8652	39,1881
A3	A2	13,18667*	1,45564	,000	8,5252	17,8481
	TESTIGO	35,96667*	1,45564	,000	31,3052	40,6281
	A1	-1,44000	1,45564	,760	-6,1015	3,2215
TESTIGO	A2	-22,78000*	1,45564	,000	-27,4415	-18,1185
	A3	-35,96667*	1,45564	,000	-40,6281	-31,3052

Fuente: SPSS