

**USO DEL CHRYSOPOGON ZIZANIODES COMO ALTERNATIVA NATURAL PARA
DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE EN EFLUENTES PROVENIENTES DE LA
ACTIVIDAD PISCÍCOLA EN LA COLONIA AGRÍCOLA DE ACACIAS -META**

Neify Yaneth Gómez Pardo

Fabio René Rico Torres

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA- UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DE MEDIO AMBIENTE**

INGENIERIA AMBIENTAL

ACACIAS

2017

**USO DEL CHRYSOPOGON ZIZANIODES COMO ALTERNATIVA NATURAL PARA
DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE EN EFLUENTES PROVENIENTES DE LA
ACTIVIDAD PISCÍCOLA EN LA COLONIA AGRÍCOLA DE ACACIAS -META**

Neify Yaneth Gómez Pardo Código 1.122.127.850

Fabio René Rico Torres Código 17.417.695

**Trabajo de línea investigativa Manejo y Tratamiento de Aguas, como requisito para optar
el título en ingeniería ambiental.**

Daniel Enrique Mejía Cáceres

TUTOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA- UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DE MEDIO AMBIENTE
INGENIERIA AMBIENTAL**

ACACIAS

2017

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Acacias, 18 de Abril de 2017

DEDICATORIA

Primeramente a Dios por darme la oportunidad de vivir y por haberme permitido cumplir con este anhelado sueño.

A mi Hijo Christopher, que ha sido mi pilar para superarme día a día.

A mis padres por toda la educación ofrecida y por el apoyo en todo momento

Neify Yaneth Gómez Pardo

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre: María Elisa Torres que además de darme la vida, ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores.

A mi padre: Julio Cesar Rico, el cual a pesar de haberlo perdido, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo.

A mi esposa Leidy quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.

Fabio René Rico Torres

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de Investigación fue realizado bajo la supervisión del Ingeniero Daniel Mejía, a quien doy gracias por el acompañamiento en la realización de este estudio, por su paciencia y dedicación para que todo el proceso fuera exitoso.

A mi compañero Fabio Rene Rico, quien estuvo compartiendo conmigo sus conocimientos y su tiempo en la realización de este proyecto.

A Dios por regalarme la vida, por darme la oportunidad de apreciar cada aprendizaje y lograr cumplir mis Metas

A mi Madre por darme la seguridad de poder cumplir mis sueños.

Neify Yaneth Gómez Pardo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le doy infinitas gracias a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre por los valores que me ha inculcado y que con su ejemplo me ha enseñado a no desfallecer ni a rendirme ante nada.

A mi padre que siempre ha estado presente en mi vida y sé que está orgulloso de la persona en la cual me he convertido.

A mi esposa Leidy por ser una parte importante en mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas y sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Al ing. Daniel Enrique Mejía, por su valiosa guía y asesoramiento, por todo el apoyo y colaboración brindada durante la elaboración de este proyecto.

A Neify por haber sido una excelente compañera de trabajo y amiga, por todos los consejos y valiosos aportes que hicieron posible este proyecto.

Fabio René Rico Torres

RESUMEN

Se realizó el proyecto de investigación con el fin de evaluar el comportamiento del uso del *Chrysopogon Zizanioides* como alternativa natural para disminuir la carga contaminante en efluentes provenientes de la actividad piscícola en la Colonia Agrícola de Acacias –Meta.

Se desarrolló en un área del establecimiento Penitenciario y Carcelario de la Colonia Agrícola, ubicada en el sector rural del Municipio de Acacias – Meta; se recolectó una parte del efluente proveniente de los estanques donde se cultivan tilapia roja (*Oreochromis sp*), cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y yamú (*Brycon siebenthalae*), con el propósito de disminuir la carga contaminante mediante la aplicación de un proceso experimental (Sistema de Tratamiento piloto) utilizando una gramínea perenne, el Pasto Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*).

Se realizaron dos muestreos de laboratorio (uno inicial y otro final), donde se analizaron los parámetros DQO, DBO, OD (Oxígeno disuelto), Sólidos suspendidos totales, pH, Fósforo total y Nitrógeno amoniacal; con el fin de examinarlos y determinar su evolución, tratando de encontrar una restauración de dichos parámetros hasta alcanzar rangos apropiados basados en la Resolución 0631 de 2015.

PALABRAS CLAVE: Piscicultura, efluente, Parámetros, *Chrysopogon Zizanioides*, Muestreos

ABSTRACT

A research project was carried out in order to determine the use of *Chrysopogon Zizanioides* as a natural alternative to reduce pollutant load in effluents from fish farming in the Agrícola de Acacias-Meta.

It was developed in an area of the Penitentiary and Prison of the Agricultural Colony, located in the rural sector of the Municipality of Acacias - Meta; A part of the effluent from the ponds where red tilapia (*Oreochromis sp*), white snail (*Piaractus brachypomus*) and yamú (*Brycon siebenthalae*) were harvested, were collected in order to reduce the pollutant load by applying an experimental process (Of Pilot Treatment) using a perennial grass, Vetiver Grass (*Chrysopogon Zizanioides*).

Two laboratory samples (one initial and one final) were performed, where the parameters COD, BOD, OD (Dissolved Oxygen), Total Suspended Solids, pH, Total Phosphorus and Ammoniacal Nitrogen were analyzed; In order to examine them and determine their evolution, trying to find a restoration of these parameters until reaching appropriate ranges based on Decree 1076 of 2015.

KEYWORDS: Fish farming, effluent, Parameters, *Chrysopogon Zizanioides*, Sampling.

Índice general

1. Introducción	13
2. Justificación	15
3. Definición del problema	16
4. Objetivos	19
4.1 Objetivo general	19
4.2 Objetivos específicos	19
5. Marco de referencia	20
5.1 Marco geográfico	20
5.2 Marco conceptual	21
5.2.1 Agua Residual Domestica	21
5.2.2 Agua Residual Agroindustrial	21
5.2.3 Alternativas para el tratamiento de efluentes piscícolas	22
5.3 Marco legal	33
6. Aspectos metodológicos	37
6.1 Montaje sistema piloto	37
6.2 Arranque del sistema	39
6.3 Toma de Muestras Inicio Proyecto de Investigación	41
7. Resultados y discusión	47
7.1 Caracterización del efluente	47

7.2 Diagnostico comparativo de los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento con el Pasto Vetiver	49
8. Conclusiones	58
9. Recomendaciones	59
10. Referencias	60
11. Anexos	64

Índice ilustraciones, tablas y gráficas

Ilustración 1. Colonia Penal Agrícola.....	20
Ilustración 2. Construcción área Planta Piloto.....	37
Ilustración 3. Construcción área Planta Piloto.....	37
Ilustración 4. Recipientes.....	38
Ilustración 5. Montaje tubería de conexión – piscinas.....	38
Ilustración 6. Montaje Final con plataforma.....	39
Ilustración 7. Montaje plataforma.....	39
Ilustración 8. Pasto Vetiver.....	40
Ilustración 9. Plataforma Pasto vetiver.....	40
Ilustración 10. Crecimiento Raíces Pasto Vetiver.....	40
Ilustración 11. Crecimiento planta.....	40
Tabla 1. Parámetros y valores máximos permisibles Resolución 0631 del 2015.....	40
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento. Laboratorio Tecnoambiental.....	47

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento y su valor límite máximo permisible Resolución 0631 del 2015.....	48
Tabla 4. Análisis fisicoquímico de las dos muestras. Laboratorio Tecnoambiental.....	49
Grafica 1. Resultado análisis inicial. Fuente Autores.....	50
Grafica 2. Resultado análisis final. Fuente Autores.....	50
Grafica 3. Resultados pH. Fuente: Autores.....	51
Grafica 4. Resultados DBO5. Fuente: Autores.....	52
Grafica 5. Resultados DQO. Fuente: Autores.....	53
Grafica 6. Resultados Sólidos Suspendedos Totales. Fuente: Autores.....	54
Grafica 7. Resultados Fosforo Total. Fuente: Autores.....	55
Grafica 8. Resultados Oxígeno Disuelto. Fuente: Autores.....	56
Grafica 9. Resultados Nitrógeno amoniacal. Fuente: Autores.....	57

Índice de Anexos

Anexo A Resultados análisis 27 Diciembre 2016.....	64
Anexo B Resultados Análisis 28 Febrero 2017.....	65
Anexo C Registro Fotográfico.....	66
Anexo D Cronograma.....	69
Anexo E Hoja de campo toma de muestras.....	70
Anexo F Protocolo toma muestra oxígeno disuelto.....	71

1. Introducción

La contaminación del agua debido a descargas de desechos líquidos, provenientes de actividades domésticas, industriales y/o agroindustriales constituye un gran problema ambiental y de salud pública, debido a las altas concentraciones de los parámetros físicos químicos de cada actividad.

El deterioro de la calidad del agua es un tema que contiene gran importancia, para ello se realizan diferentes alternativas de tratamiento del agua residual, en la actualidad algunas empresas no cuentan con el presupuesto para diseñar e implementar una Planta o un Sistema de Tratamiento de Agua Residual debido a la dificultad que se evidencia en el grado de contaminación de las fuentes hídricas.

Actualmente se han realizado diversas investigaciones que apuestan a realizar un tratamiento amigable con el medio ambiente, compensando los daños ocasionados, entre ellas se encuentra la Fitorremediación, bioabsorción, biorremediación entre otros.

Basados en la problemática ambiental sobre la contaminación del agua y apoyado en diversos estudios, surge el Proyecto de Investigación Uso del *Chrysopogon Zizanioides* (*Pasto Vetiver*) como una alternativa natural para disminuir la carga contaminante en efluentes provenientes de la actividad piscícola, desarrollado en la Colonia Penal Agrícola de la ciudad de Acacias-Meta.

Proyecto realizado mediante el diseño de un sistema de planta piloto a pequeña escala, se utilizó como unidad experimental el agua del efluente piscícola del establecimiento penitenciario y carcelario de la Colonia Penal; el sistema de tratamiento utilizado consiste en tres lagunas; una que recoge el efluente directamente de los estanques, otra con *Chrysopogon Zizanioides* a través del montaje de una plataforma de icopor, con la ayuda de un motor que hace la función de

oxigenador, con el fin de realizar la simulación del sistema de oxidación y una última que funciona como almacenamiento del efluente después del tratamiento.

2. Justificación

En la actualidad la principal causa de la contaminación del agua se debe a los vertimientos agrícolas, industriales y domésticos, que no cuentan con un tratamiento previo.

En lo que se refiere a la acuicultura uno de los mayores problemas es el aumento de materia orgánica producida por las excreciones de los peces, por el alimento y por las prácticas alimentarias no consumido y por otros insumos adicionados en los estanques de cultivo (Tacon & Matthias, págs. 3-16).

En lo que respecta al problema de contaminación causado por los efluentes provenientes de la actividad piscícola el presente proyecto está encaminado a evidenciar la eficiencia de un sistema que no cause efectos nocivos ni para la salud, ni para el medio ambiente, dirigido al mejoramiento de las condiciones físico químicas del agua y a la disminución de la carga contaminante, mediante la utilización del *Chrysopogon Zizanioides*, el cual posee unos atributos ideales para el tratamiento de aguas contaminadas provenientes de la actividades industriales y domésticas.

La Investigación realizada está proyectada a obtener mediante un método natural una posible solución a los problemas ambientales de tratamiento de agua Piscícola. Brindando a su vez un objeto de estudio de futuras investigaciones basado en un ejercicio práctico.

3. Definición del problema

Según el Estudio Nacional del Agua, ENA, revelado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), la oferta hídrica del país es seis veces superior a la oferta mundial y tres veces mayor que la de Latinoamérica. Esto quiere decir que Colombia es uno de los países del mundo con mayor cantidad de ecosistemas que producen agua (sin incluir los mares) que podría distribuirse a la población y a la industria (IDEAM, 2014, págs. 1-493).

Según el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales (PMAR) en Colombia, el caudal de aguas residuales generado por los centros urbanos es de 67m³/s, en donde Bogotá representa más del 15,3%, Antioquia el 13%, Valle del Cauca el 9.87% y los demás departamentos están por debajo del 5%. Esta proporcionalidad condiciona el grado de impacto sobre las corrientes hídricas y marca la tendencia de impacto en las regiones. Solo el 32.33% de los municipios del país cuentan con un sistema de tratamiento para las aguas residuales. Uno de los factores que pueden señalarse como impedimento para el tratamiento de las aguas residuales son la falta de conciencia sanitaria de la población, la escasa participación público-privada en iniciativas para impulsar proyectos sanitarios y la deficiencia institucional (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010, págs. 1-124).

En los últimos años la piscicultura no se había considerado como una actividad contaminante; sin embargo, el rápido crecimiento de ésta ha puesto en riesgo la sustentabilidad de las granjas piscícolas, por lo que agencias gubernamentales de varios países han reglamentado dicha actividad (Luna, 2011, págs. 12-15).

Los efluentes piscícolas pueden contener una gran variedad de constituyentes, material

orgánico e inorgánico, nutrientes, tanto en forma particulado como disuelta, que al ser liberados al ambiente puede causar alteraciones negativas. El impacto asociado a esta actividad depende de las características contaminantes del efluente así como de la capacidad de asimilación de los ecosistemas (Pardo, Suárez, & Soriano, 2006, págs. 20-29).

Por lo cual se hace necesario implementar ciertas medidas en la actividad de producción piscícola, para que el medio ambiente no tenga ningún tipo de alteración, y que por otra parte esta actividad sea técnicamente apropiada y de fácil utilización, como también sea económicamente accesible (Cisneros, 2016).

La implementación de nuevas alternativas de descontaminación del agua, son necesarias en la actualidad con el fin de promover prácticas que ayuden al mejoramiento de los vertimientos realizados a las fuentes hídricas. La utilización de plantas como el Pasto Vetiver presenta beneficios en costos, manejo y tratamiento.

La Colonia Agrícola (ubicada en el sector rural del Municipio de Acacias – Meta), posee como tratamiento del efluente un sistema de pre tratamiento: una laguna de sedimentación, hecho que sugiere la necesidad de evaluar y desarrollar alternativas distintas para el tratamiento adecuado del efluente, que además sea económicamente sostenible y sencillo de operar y mantener.

Para ello se plantea un sistema de planta piloto, con el fin de realizar una simulación de tratamiento, mediante piscinas de oxidación y plataformas de Pasto Vetiver, la cual será la encargada de realizar el proceso de tratamiento del efluente. Se realizará un análisis fisicoquímico inicial donde se evaluarán los parámetros pH, DQO, DBO, OD (Oxígeno disuelto), Sólidos suspendidos totales, Fósforo total y Nitrógeno amoniacal, determinando así la cantidad

de contaminantes que contiene el agua; luego de un proceso de contacto y estabilización de la piscina con las raíces del Pasto Vetiver se procede a la toma final de agua con el fin de evaluar la eficiencia del sistema.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

- Implementar y evaluar una alternativa ambientalmente viable con el uso de la especie *Chrysopogon Zizanioides* (Pasto Vetiver) para el tratamiento de agua residual piscícola de la Colonia Agrícola de Acacias, respecto a los parámetros de calidad de agua DBO, DQO, OD, Sólidos suspendidos totales, pH, Fósforo total y Nitrógeno amoniacal.

4.2 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar a escala piloto un sistema para el tratamiento de efluentes de agua Piscícola con la utilización del Pasto Vetiver.
- Realizar un diagnóstico comparativo de los parámetros físico-químicos DBO, DQO, OD, Sólidos suspendidos totales, pH, fosforo total y nitrógeno amoniacal del efluente de estanques piscícolas de la colonia agrícola de Acacias antes y después de utilizar el *Chrysopogon Zizanioides*, como alternativa de tratamiento de aguas residuales.
- Evaluar la eficiencia de remoción de la planta *Chrysopogon Zizanioides* en efluentes piscícola.

5. Marco de referencia

5.1 Marco geográfico

Este trabajo, se desarrolló a escala piloto, utilizando como unidad experimental el efluente de los estanques de tilapia roja, cachama blanca y yamú del establecimiento penitenciario y carcelario de la Colonia Agrícola, ubicada en el sector rural del Municipio de Acacías, km 3 vía a Villavicencio, departamento del Meta. La Colonia Agrícola cuenta con cinco estanques, 3 de cría de tilapia roja, 1 de cachama blanca y 1 de yamú, para fines comerciales, con una producción media de 8 toneladas anuales. Este efluente proveniente de la actividad piscícola es vertido a las aguas superficiales del caño Cola de Pato, perteneciente a la cuenca del río Acacias. La región posee un clima tropical, con temperatura promedio de 24 °C. Ubicación geográfica 4⁰ 00'16.97''N 73⁰ 46'46.04''O.



Ilustración 1 Colonia Penal Agrícola
Imagen tomada de Google Earth

5.2 Marco conceptual

5.2.1 Agua Residual Domestica

Las aguas Residuales domesticas son producidas por asentamientos de población, una parte de sus características son desechos del cuerpo humano. Dentro de las alternativas de tratamiento encontramos los tratamientos como Cribado, remoción de arena, tanques de almacenamiento e igualación, como tratamiento primario cuentan con implementación de tanques de Coagulación y flotación, dentro del tratamiento secundario encontramos filtros percoladores , sedimentación y lodos activados, disposición de lodos (tratamiento), y descarga de residuos líquidos ya tratados.

5.2.2 Agua Residual Agroindustrial

Según lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, la agroindustria hace relación a la transformación de productos procedentes de la agricultura, la actividad forestal y la pesca; es decir que a partir de estos productos obtenidos de la tierra, de ríos y de mares, se elaboran materias primas y derivados del sector agrícola. La caracterización del agua Residual agroindustrial varía según el proceso de transformación y su naturaleza algunas contienen más carga orgánica, otras pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos.

El Tratamiento del Agua Residual Agroindustrial a comparación con el Agua Residual Domestica varía según su composición y concentración físico-química del agua debido a la actividad, procesamiento y manejo de materias primas.

5.2.3 Alternativas para el tratamiento de efluentes piscícolas

Algunas de las alternativas o técnicas utilizadas para el tratamiento de efluentes provenientes de la piscicultura van desde la filtración mecánica, filtros de grava en flujo ascendente, tanques de sedimentación, osmosis inversa, sistemas de humedales y lagunas, hasta la filtración de efluentes a través de plantas acuáticas.

5.2.3.1 Filtración mecánica

Consiste en retener físicamente mediante filtros las partículas de diferentes tamaños que se encuentran en suspensión del agua.

Se han desarrollado varios tipos de filtración mecánica y su uso se ha orientado tanto para la eliminación de partículas sólidas como para la concentración del efluente, algunos ejemplos de esta tecnología son los filtros de pantallas, filtros de bolsa y de cartucho, filtros de medios porosos y granulares, y filtros de bolas. Comparativamente todos tienen ventajas y desventajas cuando se consideran pérdidas de carga, carreras de filtración, tasas de filtración y facilidad de limpieza a contracorriente (Pfeiffer, Osborn, & Davis, 2008, págs. 24-29)

5.2.3.2 Filtros en grava de Flujo Ascendente

Un filtro de flujo ascendente constituye en varias capas de grava de diferente granulometría que varían desde 0,5 a 1,5 cm y están localizadas directamente sobre el sistema de drenaje inferior hasta las capas más fina, esto permite una penetración más profunda en el lecho filtrante de los sólidos suspendidos.

Fernández et al. (2009) evaluaron un Filtro en grava de Flujo Ascendente en el tratamiento de efluentes de operación normal del cultivo de Tilapia roja, encontrando remociones para SST

(57%), PT (54%), NT (41%), DBO5 (21%), DQO (25%), así como reducciones de coliformes fecales (0,97 Unidades log) a una velocidad de filtración de 0,6 m/h (págs. 35-43).

5.2.3.3 Tanques de sedimentación

Son tanques que tienen como función sedimentar o decantar las partículas, esto por la acción de la gravedad de las partículas suspendidas y cuyo peso específico es mayor al del agua.

“El cual busca el espesamiento de los efluentes del lavado de estanques. Una vez la carga de sólidos abandona los dispositivos de espesamiento, ésta es dispuesta en tierra para su infiltración o usada para compostaje y vermicompostaje¹ ” (Sharrer, Tal, Ferrier, Hankins, & Summerfelt, 2007, págs. 159-176).

5.2.3.4 Osmosis inversa

El fenómeno de la Ósmosis está basado en la búsqueda del equilibrio. Cuando se ponen en contacto dos fluidos con diferentes concentraciones de sólidos disueltos se mezclarán hasta que la concentración sea uniforme. Si estos fluidos están separados por una membrana permeable (la cual permite el paso a su través de uno de los fluidos), el fluido que se moverá a través de la membrana será el de menor concentración de tal forma que pasa al fluido de mayor concentración. (Binnie *et. al.* 2002).

Una presión superior a la presión osmótica, se produce el efecto contrario. Los fluidos se presionan a través de la membrana, mientras que los sólidos disueltos quedan atrás. A esto se le denomina osmosis inversa.

Qinetal (2004) desarrollaron y aplicaron la tecnología de Osmosis Inversa para la eliminación de residuos nitrogenados de efluentes de tilapia en la isla del Coco (Hawái). Los resultados de las pruebas indicaron que un prototipo de Osmosis Inversa impulsado por el viento puede procesar y recircular caudales que oscilan entre 228 y 366 L/h dependiendo de la velocidad del viento. Con dicho prototipo se alcanzaron rangos de remoción de nitrógeno total entre el 90 y el 97%. La calidad del efluente reportó concentraciones de nitritos menores de 0.002 mg/L y nitratos menores de 0.02 mg/L después de la primera semana de operación del sistema (págs. 365-378).

5.2.3.5 Sistemas de humedales

Los humedales artificiales son ecosistemas diseñados, construidos y mantenidos como una alternativa viable y sustentable, que permite la reducción, transformación o eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Su diseño retoma los elementos y procesos que se presentan en los humedales naturales: aeróbicos-anaeróbicos, rizósfera, ciclos biogeoquímicos, columna de agua, vegetación adaptada a la inundación temporal o permanente, Además de una base impermeable.

Redding, et al. (1997) evaluaron la efectividad de remoción de tres sistemas de humedales: 1. Sistema emergente, 2. Sistema flotante y 3. Sistema sumergido. Las tasas de remoción de Fósforo total fueron de 3.16 Kg/Ha día, 0,46 Kg/Ha. día y 2.19 Kg/Ha día, respectivamente. Así mismo, el sistema emergente reportó reducciones promedio de 10,7%, 15,4% y 8,6% para amoníaco-N, Nitrato-N y Fosfato respectivamente (págs. 283-299).

5.2.3.6 Lagunas

Gálet al. (2003) desarrollaron un sistema de lagunas combinando piscicultura extensiva e intensiva para el tratamiento y reúso del efluente de estanques piscícolas de carpa, bagre y tilapia. El agua fue recirculada entre las lagunas extensivas e intensivas con un periodo de retención promedio de 60 días. Al final de un periodo de observación de tres años el 81.5% del carbono orgánico, 54.7% de nitrógeno y 72.2% de fósforo fueron retenidos por el sistema. La combinación de piscicultura intensiva con piscicultura extensiva disminuyó fuertemente la carga de nutrientes que se lanzaban al ambiente (págs. 767-772).

El sistema de piscicultura intensiva consiste en lograr una producción de peces con un control completo y se efectúa en estanques técnicamente contruidos para fines comerciales y la extensiva ejerce un control menor estos normalmente se efectúan en estanques naturales.

5.2.3.7 Plantas acuáticas

“los ecosistemas dominados por macrófitas acuáticas son considerados como los más productivos en el mundo” (Brix & Schierup, 1989, págs. 100-107).

Las plantas acuáticas poseen habilidad para asimilar nutrientes y crear condiciones favorables para la descomposición microbiana de la materia orgánica, por esta razón son conocidas como auto depuradoras de ambientes acuáticos y son utilizadas en el tratamiento de aguas servidas. El uso de macrófitas emergentes para el tratamiento de efluentes es conocido como sistema de humedales artificiales o naturales. Las macrófitas ofrecen superficies para epífitas y bacterias nitrificantes que son quienes realizan la descomposición de la materia orgánica. La mezcla de macrófitas emergentes y submersas otorga el mayor beneficio para la remoción de nitrógeno en humedales (Weisner, Eriksson, Graneli, & Leonardson, 1994, págs. 363-366).

Otro uso de las plantas acuáticas para el tratamiento del efluente es a través de los humedales artificiales. Lin et al. (2004) demostraron que estos sistemas pueden remover entre el 55 al 66% de los sólidos suspendidos, un 37 a 54% de DBO5, entre un 64 a 66% del amonio y 83 a 94% del nitrito del efluente producido por un cultivo de camarones (págs. 411-421).

Posadas (s.f) reporta que humedales artificiales del 25% del tamaño del estanque y de dos días de retención de agua mejoran significativamente los parámetros de calidad de agua de producción de bagre de canal, reteniendo y asimilando nutrientes disponibles, siendo efectivos en la reducción de poluentes, incluso dejando el agua en mejores condiciones que la del afluente (págs. 1-19).

Troell et al. (2005) “Definen la biofiltración de nutrientes por plantas acuáticas, principalmente por algas, como una acuicultura multitrófica integrada” (págs. 27-29). “El uso de algas marinas como organismos extractores de nutrientes ha sido demostrado biológica, técnica y económicamente” (Troell, y otros, 2003, págs. 69-90). “En Chile la integración de salmón y algas permite reducir el impacto negativo del efluente, los costos de las algas son asumidas por el cultivo de salmón y se produce en un sistema ecológicamente amigable” (Buschmann, Gutierrez, Aroca, & Hernández-González, 2005, págs. 68-69).

“El fitoplancton es relativamente eficiente en la asimilación de amonio, nitrito y fósforo de fuentes alimenticias” (Lazur & Britt, 1997, págs. 1-8) y contribuye en el proceso.

Troell et al. (1999) reportan el uso de algas para mejorar la calidad de las aguas utilizadas en la producción de salmón. La variedad *Gracilaria* logró remover el 50% del amonio disuelto liberado por los peces en invierno, incrementando dicho valor hasta un 95% en primavera,

minimizando las variedades de nutrientes que suelen ser tóxicas para los salmones cultivados en jaulas (págs. 89-97).

Ghaly & Kamal (2005) evaluaron cinco plantas para determinar su capacidad para eliminar los nutrientes de aguas residuales procedentes de la acuicultura y su idoneidad para ser usadas en la alimentación de los peces: alfalfa, trébol, avena, centeno y cebada. Las semillas fueron germinadas en el agua en un sistema hidropónico, y las plantas fueron alimentadas con aguas residuales efluentes de la producción de tilapia. Las semillas de trébol y alfalfa se infectaron con un hongo poco después de la germinación y sus raíces quedaron totalmente destruidas por el día 14. La avena, el centeno y la cebada presentaron crecimiento más rápido y demostraron una mayor tolerancia a enfermedades fúngicas en comparación con la alfalfa y trébol. Aunque las semillas de las plantas liberaron importantes cantidades de sustancias solubles e insolubles durante el período de germinación, las plantas fueron capaces de remover fracciones importantes de contaminantes: se reportan reducciones en sólidos suspendidos totales (54,7% a 91,0%), DQO (56,0% a 91,5%), NO_3^- -N (82,9% a 98,1%), NO_2 -N (95,9% a 99,5%), fosfato (54,5% a 93,6%) y potasio (99,6% a 99,8%). La avena, la cebada y el centeno crecen bien en sistemas hidropónicos y se pueden emplear en la alimentación de los peces suplementadas con grasa, sodio, hierro y manganeso (págs. 1-13).

Henry- Silva & Monteiro (2006) evaluaron la eficiencia de remoción de contaminantes procedentes de un efluente de tilapia por medio de tres macrófitas acuáticas flotantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y *Salvinia molesta*), encontrando que las especies *E. crassipes* y *P. stratiotes* son más eficientes en la eliminación de fósforo total alcanzando porcentajes de remoción de 82% y 83.3% respectivamente, y de eliminación de nitrógeno total

(46,1% y 43,9%, respectivamente), posibilitando el reúso de los efluentes en la piscicultura (págs. 433-438).

Nduwimana et al. (2007) utilizaron las plantas *Lolium perenne* y *Amaranthus viridis*, para adecuar efluentes piscícolas para su uso en irrigación. Los dos sistemas de plantas flotantes removieron 88.9% y 82.7% de nitrógeno amoniacal, 90% y 82% de NO₂-N, 64.8% y 60.5% de NO₃-N, respectivamente. Aunque ambas plantas reportaron buenas eficiencias, *Amaranthus viridis* presentó limitaciones en su tasa de crecimiento (págs. 1079-1085).

Da Silva (2006) comprobó que con coberturas iniciales del 75% del área de recipientes de siembra equivalentes a densidades de 1600 g/m² *Azolla filliculoides* presenta mejores eficiencias en la remoción de nutrientes en efluentes provenientes de lagos de tilapia (el experimento lo realizó para coberturas iniciales del 25%, 50%, 75% y 100%) (págs. 1-126); Forni et al. (2001) sostienen que con coberturas iniciales del 70% del área de los recipientes se obtienen los mejores rendimientos en la remoción de nutrientes, ya que con este grado de ocupación, se restringe el crecimiento de algas y se evita el hacinamiento de las plantas que podría restringir su crecimiento (págs. 1592-1598).

Siguiendo estos principios, se optó por una especie de planta perenne, el *Chrysopogon Zizanioides*, el cual se reseña a continuación.

5.2.3.8 Chrysopogon Zizanioides

5.2.3.8.1 Clasificación taxonómica

Por años, los botánicos han reflexionado sobre la verdadera identidad de las plantas, incluyendo las gramíneas. Muchas gramíneas no son realmente importantes y suficientes para dedicar recursos y tiempo en su categorización, porque no están llamados a cumplir una tarea

específica. El Vetiver tiene sus orígenes en la India y debido a sus excelentes cualidades, se ha convertido en lo suficiente importante como para clasificarlo y separarlo definitivamente de sus parientes cercanos. Con esta planta, debe haber pocas dudas en los países que están adoptando el sistema Vetiver, de que están utilizando la especie y tipo correcta (John Greenfield, 2002).

Esta especie fue clasificada hasta el año 1896, pero cerca de 100 años hasta 1999, la clasificación taxonómica del vetiver (el nombre completo aceptado) ha sido *Vetiveria Zizanioides* (L) Nash. La “L” se refiere a Linneo, el gran botánico sueco, quien estandarizó el uso de la botánica binomial (dos nombres).

El vetiver ahora tiene un nuevo nombre científico: *Chrysopogon Zizanioides* (L) Roberty. Es importante anotar que este nuevo nombre de la especie se refiere exactamente al mismo grupo de planta similar, con los dos nombres científicos más antiguos, solamente ha cambiado el nombre del género gramíneas para la Flora Malesiana de la Universidad de Leiden y durante un largo tiempo su asesor voluntario de la red mundial del Vetiver, después de estudio del género *Vetiveria*, publicado en la versión de la revista *Austrobaileya* (Veldkamp 1999). La documentación taxonómica clásica consistentes diferencias morfológicas (flora) entre los géneros *Vetiveria* y *Chrysopogon*, una conclusión soportada por la toma de muestras de ADN (Adamas, et al 1998). Debido a que *Chrysopogon*, fue el primer género mencionado, bajo las reglas de prioridad botánica, Veldkamp no tuvo más elección que convertir *Vetiveria* en *Chrysopogon*.

La planta de vetiver es una gramínea perenne, parecida a la hierba luisa, de tupidos penachos, con inflorescencia y semilla estériles que se reproducen con dificultad. Como no tiene rizoma radicular o haces enraizados, la planta crece en grandes macollos a partir de una masa

radicular muy ramificada y esponjosa. Sus tallos erguidos en forma recta alcanzan una altura de 0.5 a 1.5 m. La hojas son relativamente rígidas, largas y angostas y tienen hasta 75 cm. de largo y no más de 8 mm de ancho. La panícula (en donde se desarrolla la inflorescencia) tiene entre 15 a 40 cm de largo (Alegre, 2007, págs. 1-37).

La planta de vetiver no tiene estolones. Su sistema de raíces finas y compactas crece muy rápido, en algunas aplicaciones puede alcanzar entre 3 y 4 m de profundidad en el primer año. Este profundo sistema de raíces hace que la planta de vetiver sea extremadamente tolerante a las sequías y difícil de arrancar por fuertes corrientes (Truong, Tan Van, & Pinners, s.f, págs. 1-127).

La planta puede soportar sequías extremas debido a su alto contenido de sales de la savia de sus hojas, así como inundaciones por largos periodos (se han reportado hasta 45 días de inundación en el terreno). Crece en un rango amplio de suelos y con diferentes niveles de fertilidad y puede resistir hasta temperaturas de -9° C desde el nivel del mar hasta los 2500 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Alegre, 2007, págs. 1-37).

La utilización de vetiver *Vetiveria Zizanioides* (L.) Nash para tratar aguas residuales es un método de bajo costo y muy eficiente para tratar aguas residuales domésticas e industriales y en investigaciones se ha demostrado que el vetiver bajo condiciones hidropónicas es capaz de bajar el nitrógeno total de 100 mgL⁻¹ a 6 mgL⁻¹ (94 % de eficiencia); el fósforo total de 10 mgL⁻¹ a 1 mgL⁻¹ (90 %), Coliformes fecales ≥ 1.600 org /100 mL a 900 org /100 mL (44 %); E. Coli %, E. Coli de ≥ 1.600 org /100 mL a 140 org /100 mL (91 %); Oxígeno disuelto de < 1 mgL⁻¹ a 8 mgL⁻¹ (>800); conductividad eléctrica de 928 μ Scm⁻¹ a 468 μ Scm⁻¹; pH 7.3 a 6,0 y puede evapotranspirar 1,1 L/día/cuatro plantas/ tambor, todo esto con un tiempo de retención de cuatro días. (Truong et al, 2000).

5.2.3.8.2 Características fisiológicas

- Tolerante a variaciones climáticas extremas como sequía prolongada, inundaciones, sumersión y temperaturas extremas de -15°C a +55°C.
- Habilidad para rebrotar rápidamente después de haber sido afectado por sequías, heladas, salinidad y otras condiciones adversas al mejorar las condiciones del tiempo o se añadan correctivos al suelo.
- Tolerancia a un amplio rango de pH desde 3.3 a 12.5 sin enmiendas del suelo.
- Alto nivel de tolerancia a herbicidas y plaguicidas.
- Alta eficiencia en absorber nutrientes tales como N y P y metales pesados en aguas contaminadas.
- Muy tolerante a medios de crecimiento altos en acidez, alcalinidad, salinidad, sodicidad y Mg.
- Alta tolerancia al Mn, Al y metales pesados tales como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se y Zn en los suelos (Truong, Tan Van, & Pinnars, s.f, págs. 1-127).

5.2.3.8.3 Atributos principales del vetiver en su comportamiento con el agua

- Es nativa de un ambiente higroscópico, como humedales, lagunas y pantanos.
- Es extremadamente tolerante a sequías así como a inundaciones y condiciones sumergidas.
- Es efectivo para la conservación de suelos y agua.

- Tiene excelentes características biológicas para la reducción de las aguas residuales y mitigación de la polución por su capacidad de absorber y tolerar altos niveles de minerales pesados.
- La absorción de altos niveles de contaminantes o metales pesados es un proceso de reciclaje que la planta lo almacena y usa para otros propósitos más que un proceso de tratamiento.
- Las cajas flotantes con vetiver creciendo como cultivo hidropónico puede reducir las recargas altas de nutrientes que son toxicas para los cultivos, árboles frutales, ornamentales y maderables y pueden usarse para irrigación.
- También se usan en tanques sépticos con un sistema hidropónico de recirculación de los efluentes ayuda a remover los contaminantes con nitratos reduciendo la polución de las aguas de los acuíferos (Alegre, 2007, págs. 1-37).
- Mejoramiento de la calidad de las aguas servidas y contaminadas.
- Tratamiento de nutrientes y otros contaminantes en las aguas servidas y lixiviados.

Descompone compuestos orgánicos asociados con herbicidas y otros biocidas (Truong, Tan Van, & Pinnars, s.f, págs. 1-127).

5.3 Marco legal

- **Decreto - Ley 2811 de 1974**

Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente: define normas generales y detalla los medios para el desarrollo de la Política Ambiental. Entre otras competencias, asigna responsabilidades para ejecución de obras de infraestructura y desarrollo, conservación y ordenamiento de cuencas, control y sanciones, concesiones y uso del agua, tasas, incentivos y pagos, medición de usos, uso eficiente del agua y demás herramientas para la administración, protección, conservación y uso sostenible de los recursos naturales renovables.

- **Ley 09 de 1979**

Código Sanitario Nacional: Establece las normas generales para preservar, restaurar o mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana y define desde el aspecto sanitario los usos del agua y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.

- **Decreto 1594 de 1984**

Establece criterios de calidad de los cuerpos de agua en función de sus usos potenciales y determina límites máximos permisibles de sustancias de interés sanitario y ambiental, contenidas en los vertimientos. Amplifica el concepto de Tasa Retributiva y reglamenta los permisos de vertimientos.

- **Constitución Política de Colombia de 1991**

Consagra derechos y obligaciones para proteger los recursos y garantizar un medio ambiente sano. Asigna competencias a diferentes entes estatales para adelantar las tareas de administración, planeación, prevención y defensa del medio ambiente.

- ❖ **Artículo 79** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

- ❖ **Artículo 84** Cuando un derecho o una actividad hayan sido reglamentados de manera general, las autoridades públicas no podrán establecer ni exigir permisos, licencias o requisitos adicionales para su ejercicio.

- **Ley 99 de 1993**

Sistema Nacional Ambiental SINA: Crea el Ministerio del Medio Ambiente, reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA. Define el marco legal y asigna funciones en relación con la formulación de la Política Nacional Ambiental, ordenamiento territorial y manejo de cuencas, obras de infraestructura, control de contaminación, definición y aplicación de tasas de uso del agua y retributivas, licencias ambientales, concesiones de agua y permisos de vertimiento, control, seguimiento y sanciones, manejo de conflictos de competencias, cuantificación del recurso hídrico, seguimiento de la calidad del recurso hídrico, conservación de cuencas, instrumentos económicos y de financiación.

- **Ley 388 de 1997**

Define, entre otros, competencias en el manejo de las cuencas hidrográficas para elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial en los municipios y distritos.

- **Decreto 1729 de 2002**

Establece las finalidades, principios y directrices para la ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas- POMCA, la competencia para su declaración, procedimiento, acciones y plazos para su cumplimiento. Se define como norma de superior jerarquía sobre cualquier otro ordenamiento administrativo y determinante de los Planes de Ordenamiento Territorial POT.

- **Resolución 104 de 2003**

Reglamentaria del decreto 1729/02, establece criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas.

- **Decreto 3930 de 2010**

Define los Usos del Agua y establece que las Autoridades Ambientales Competentes deberán elaborar los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH para las aguas superficiales, marítimas y subterráneas y reglamenta los permisos de vertimiento.

- **Decreto 2041 de 2014**

Establece la obligatoriedad de la licencia ambiental para la ejecución de obras, el establecimiento de industrias o el desarrollo de cualquier actividad que pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje.

- **Decreto 1076 de 2015**

La pretensión de esta iniciativa es recoger en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. Teniendo en cuenta esta finalidad este decreto no contiene ninguna disposición nueva, ni modifica las existentes.

- **Resolución 0631 de 2015**

Establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público según su actividad económica.

- ❖ **Capítulo VII. Actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales. Artículo 15.** Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD para las actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales

6. Aspectos metodológicos

6.1 Montaje Sistema Piloto

Con el fin de lograr resultados propicios con el Pasto vetiver y el sistema piloto en La Colonia Penal Agrícola ubicado en el Municipio de Acacias-Meta, se desarrolló un montaje adecuado para reducir los parametros de contaminacion.

Se procedió a la construcción de una área con el fin de lograr una proteccion sobre el sistema piloto.



La Construcción del Sistema planta piloto consistió en similitud de tres lagunas, la primera laguna que recoge el efluente directamente de los estanques, la siguiente laguna se encuentra con *Chrysopogon Zizanioides* a través del sistema de flotación mediante el montaje de una plataforma

de icopor, esta laguna posee una bomba de aireación que hace la función de oxigenador, con el fin de realizar la simulación del sistema de oxidación y la última laguna funcionó como recepción de almacenamiento del efluente después del tratamiento con el fin de evaluar la calidad del agua.

Cada laguna se construyó con recipientes cilíndricos de material termoplástico de 30 cm. de altura y 65 cm. de diámetro, con capacidad de 50 litros. La regulación de caudales se realizó mediante válvulas de bola.



Ilustración 4. Recipientes



Ilustración 5. Montaje tubería de conexión- piscinas



6.2 Arranque del sistema

El vetiver utilizado en la investigación fue obtenido de la ciudad del Espinal (Tolima) donado por Vetivercol servicios y consultorías S.A.S. La siembra de la planta se realizó el 21 de diciembre de 2016. Durante el proceso de la investigación el vetiver mostró un raudo crecimiento y tuvo una fácil adaptación en el efluente de los estanques que alimentan la planta piloto.

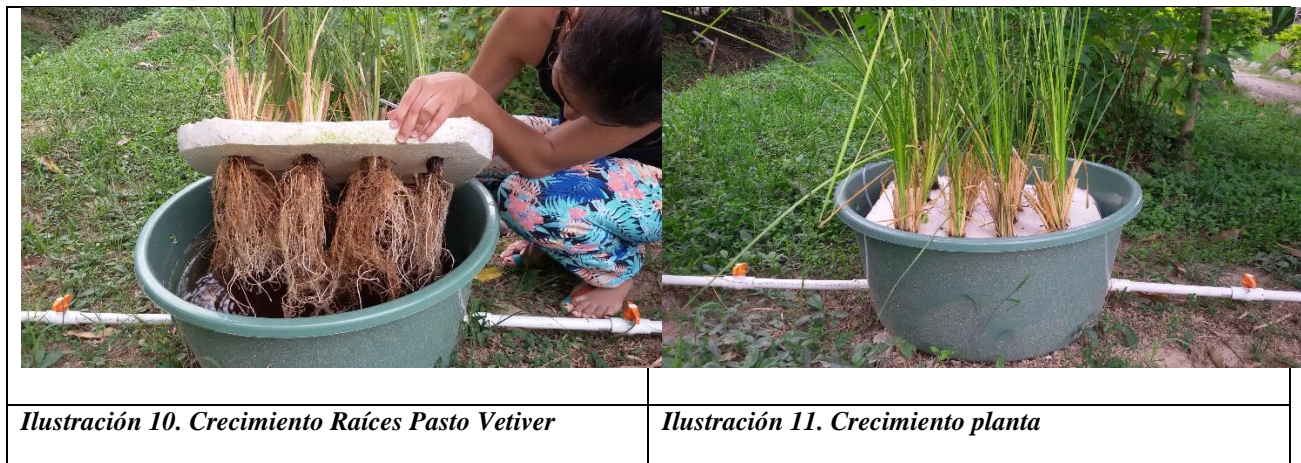
Para iniciar el análisis experimental en una de las canecas se llenó con 50 litros del líquido efluente proveniente de los estanques de tilapia roja, cachama blanca y yamú. Se sembraron 16 esquejes de vetiver a través del sistema de flotación mediante el montaje de una plataforma de icopor, para evitar la proliferación de larvas y descomposición del agua se instaló una bomba de aireación que hace la función de oxigenado, con el fin de realizar la simulación del sistema de oxidación. Con el propósito de evitar alteraciones en el proceso de tratamiento, el sistema piloto se cubrió con techo de zinc.

El estudio tuvo una duración de 8 semanas, con un tiempo de retención de 8 días y una alimentación semicontinua: semanalmente se agregaron 10 litros nuevos del efluente al sistema de tratamiento. Se realizaron inspecciones visuales y análisis fisicoquímicos al inicio y final de la

investigación. Como resultado una vez que culminó el tiempo, se esperó que el agua haya cambiado en los parámetros de contaminación, tales como pH, DQO, DBO, OD (Oxígeno disuelto), Sólidos suspendidos totales y Fósforo total.



Durante ocho (8) semanas, tiempo que estuvo funcionando el sistema piloto, se observó un óptimo crecimiento de las raíces del Pasto Vetiver logrando evidenciar la actividad de remoción de contaminantes.



6.3 Toma de Muestras Inicio Proyecto de Investigación

La primera toma de muestras se realizó el 27 de diciembre de 2016. Dichas muestras fueron llevadas a un sitio especializado y acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S.

El protocolo de toma de la muestra está fundamentado en los métodos analíticos utilizados para la toma y preservación de las muestras de vertimientos establecidos de manera general por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Se determinó el punto a muestrear identificando el punto de descarga, razón por la cual el punto exacto para la toma será a la entrada del sistema de pre tratamiento: Laguna de sedimentación.

Con ayuda del geoposicionador se determinó la latitud, longitud y altitud del sitio exacto de vertimiento $4^{\circ} 00' 16.97'' \text{N}$ $73^{\circ} 46' 46.04'' \text{O}$.

A continuación se presenta una lista de los materiales y equipos que se requirieron en el momento del muestreo:

- Nevera de icopor con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a los 4°C .
- Cinta pegante o de enmascarar, adhesivos, etc.
- Balde plástico de 10 litros.
- Guantes.
- Formato de toma de muestras. Anexo F.
- Bolígrafo o marcador de tinta indeleble.

- Persevantes para muestras: Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄)
- Recipientes plásticos y de vidrio.
- Botas de caucho.
- Para la determinación de Oxígeno Disuelto por método titulométrico, se llevó un frasco winkler, y los reactivos sulfato manganoso, azida de sodio y ácido sulfúrico concentrado.

Cada frasco fue debidamente etiquetado, identificándose el parámetro a evaluar y diligenciado con la información general.

Una vez inspeccionado el sitio donde se realizara el monitoreo, se determinó el método para la estimación de los caudales; el cual fue por medio de la medición volumétrica manual. Para este tipo de medición se requirió de un cronometro y un recipiente aforado. El procedimiento a seguir fue tomar un volumen de muestra cualquiera y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores nos permitió conocer el caudal en ese instante de tiempo. El cálculo del caudal es el siguiente:

$$Q = V/t$$

Muestra	Tiempo
1	6,26 sg
2	5,8 sg
3	6,32sg
4	6,40sg
5	6,80 sg

Tabla. Fuente autores

Volumen del recipiente: 10lts

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{10lts}{6,316sg} = 1,613 \text{ lts/s}$$

Luego de la toma los frascos fueron colocados dentro de la nevera agregándosele el suficiente hielo para refrigerar las muestras.

Se diligencio el formato TF0051/REV/4/2016-02-18 de la empresa Tecno ambiental S.A.S (Anexo F), donde contiene la información básica necesaria, para identificar las condiciones y características de la muestra y del sitio de la toma de la muestra, que incluye la siguiente información: Sitio de muestreo, identificación de la muestra, características del muestreo, firma del recolector responsable, fecha, hora y sitio de muestreo: tipo de muestra.

Las muestras fueron entregadas en el laboratorio de Tecno ambiental lo más pronto posible después del muestreo, sin exceder el tiempo de almacenamiento y preservación máximo permitido.

Los parámetros recomendados a evaluar, de acuerdo con la Resolución 0631 del 2015, Capitulo VII Articulo 15 son: pH, DBO₅, DQO, Sólidos suspendidos totales y Fósforo total.

PARAMETRO	UNIDAD	VALORES LIMITES
		MAXIMOS PERMISIBLES
pH	Unidades de pH	6 a 9
D.B.O ₅	mg/L O ₂	50
D.Q.O	mg/L O ₂	150
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	mg/L	50
FOSFORO TOTAL (P)	mg/L	Análisis y Reporte
NITROGENO AMONIACAL <i>N – NH₃</i>	mg /L	Análisis y Reporte

Tabla 1. Parámetros y valores máximos permisibles Resolución 0631 del 2015

➤ **pH**

Es la determinación de la actividad del ion hidronio por medida potenciométrica, utilizando un electrodo estándar de hidrogeno y uno de referencia. La muestra fue recolectada en botella de polietileno completamente llena (500 ml).

➤ **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)**

Es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C (IDEAM, 2007). Para la toma de la muestra se utilizó un frasco plástico de polipropileno de 1000 mL de capacidad.

➤ **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**

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

muestra se colecto en botella de plástico y se preservó en campo por adición de H₂SO₄ conc. (2 mL de H₂SO₄ conc. /L de muestra).

➤ **SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)**

La muestra se tomó en tal forma que no hubiera partículas flotantes grandes o aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos. Se utilizó frasco plástico de polipropileno de por lo menos 500 mL de capacidad. Se refrigeró la muestra a 4°C hasta el momento del análisis para minimizar la descomposición microbiológica de los sólidos.

➤ **FOSFORO TOTAL (P)**

Se determina en una muestra sin filtrar y en ella están presentes todas las formas de fósforo (IDEAM, 2004). La muestra se colecto en un envase de plástico preservado con ácido sulfúrico concentrado hasta un pH < 2.

➤ **OXIGENO DISUELTO (OD)**

La muestra se colecto en un frasco winkler el cual se enjuago varias veces con el agua a analizar. Se llenó el frasco con la muestra de agua hasta derramarse, sin producirse o que queden burbujas de aire. Se añadieron 20 gotas del reactivo No. 1 (sulfato manganoso). Luego se adicionaron 20 gotas del reactivo No. 2 (azida de sodio). Se tapó el frasco con cuidado, sin que quedaran burbujas de aire. Se agito invirtiendo varias veces el frasco durante 10 segundos. Seguido se dejó en reposo hasta que el precipitado se depositó suficientemente hasta la mitad del volumen del frasco. Luego se añadió 20 gotas del reactivo No. 3 (Ácido sulfúrico H₂SO₄). Por último se mezcló invirtiendo varias veces hasta disolverlo completamente. Se refrigeró la muestra a 4°C.

Una vez conocidos los resultados de dichos análisis se realizara un diagnóstico comparativo de los parámetros físico-químicos pH, DBO, DQO, OD, Solidos suspendidos totales y fosforo total del efluente proveniente de los estanques piscícolas de la colonia agrícola de Acacias, antes y después de utilizar el *Chrysopogon Zizanioides*, como alternativa de tratamiento de agua residual.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Caracterización del efluente

Los parámetros fisicoquímicos del agua residual proveniente de la piscicultura se determinaron empleando la metodología descrita en los métodos estándar (Standard Methods).

PARAMETRO	UNIDAD	METODO	RESULTADO
D.B.O ₅	<i>mgO₂/L</i>	SM 5210 B SM 4500 O G	10
D.Q.O	<i>mgO₂/L</i>	SM 5220 C	25
FOSFORO TOTAL	<i>mpP/L</i>	SM 500 PB,C	1,406
NITROGENO AMONIACAL	<i>mg N – NH₃/L</i>	SM 4500 NH ₃ B C	<0,5
OXIGENO DISUELTO	<i>mgO₂/L</i>	SM 4500 OC	5,7
PH	Unidades de pH	SM 4500 H ⁺ B	7,43
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	<i>mg/L</i>	SM 2540 D	31,33

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento. Laboratorio Tecnoambiental

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO ANTES DEL TRATAMIENTO	VALOR LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
D.B.O ₅	<i>mg O₂/L</i>	10	50
D.Q.O	<i>mg O₂/L</i>	25	150
FOSFORO TOTAL	<i>mg P/L</i>	1,406	Análisis y Reporte
NITROGENO AMONIACAL	<i>mg N – NH₃/L</i>	<0,5	Análisis y Reporte
OXIGENO DISUELTO	<i>mg O₂/L</i>	5,7	Análisis y Reporte
PH	Unidades de pH	7,43	6 a 9
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	<i>mg/L</i>	31,33	50

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento y su valor límite máximo permisible Resolución 0631 del 2015

Los resultados obtenidos se compararon con los valores límites máximos permisibles según la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 Capítulo VII Artículo 15 Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ARnD para las actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los Capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales, donde se puede observar que los parámetros fisicoquímicos se encuentran en concentraciones muy bajas, cumpliendo con la norma.

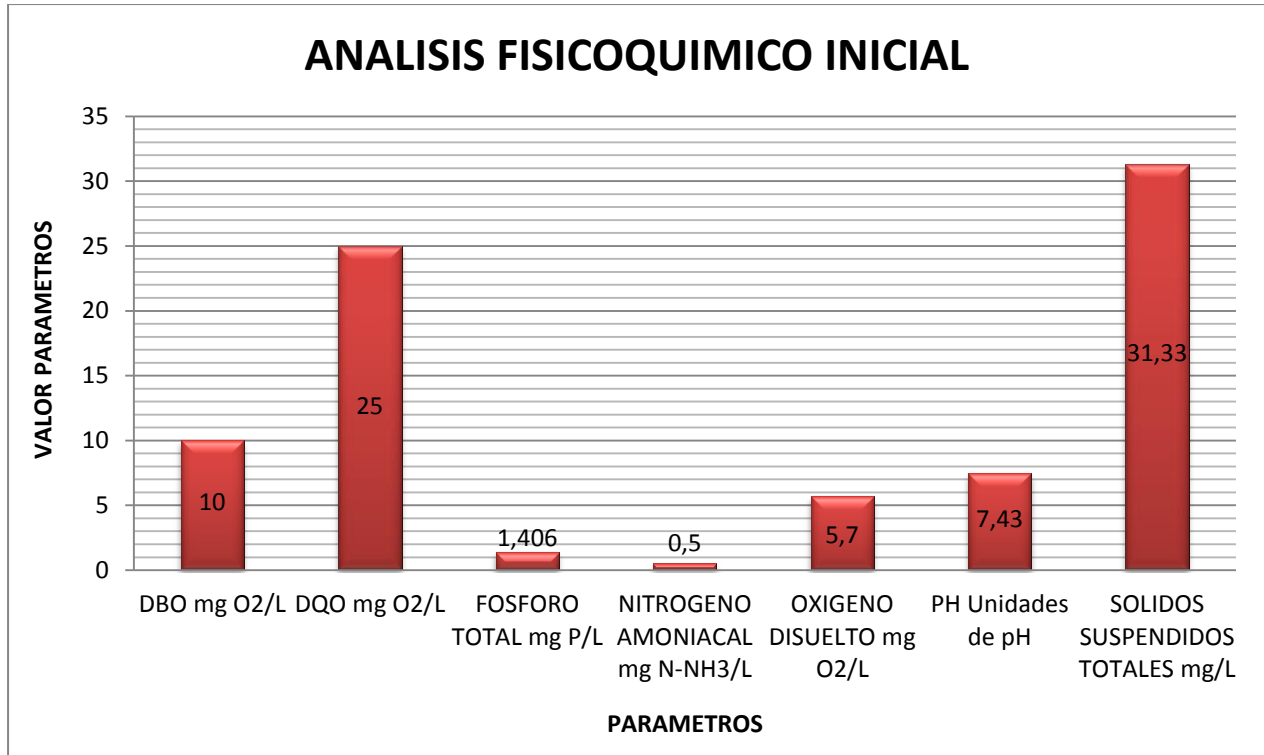
7.2 Diagnostico comparativo de los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento con el Pasto Vetiver

PARAMETRO	MUESTRA DE AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO	MUESTRA DE AGUA DESPUES DEL TRATAMIENTO
D.B.O ₅	10	<5
D.Q.O	25	77
FOSFORO TOTAL	1,406	<0,8
NITROGENO AMONICAL	<0,5	<0,5
OXIGENO DISUELTO	5,7	1,0
PH	7,43	6,25
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	31,33	<9,2

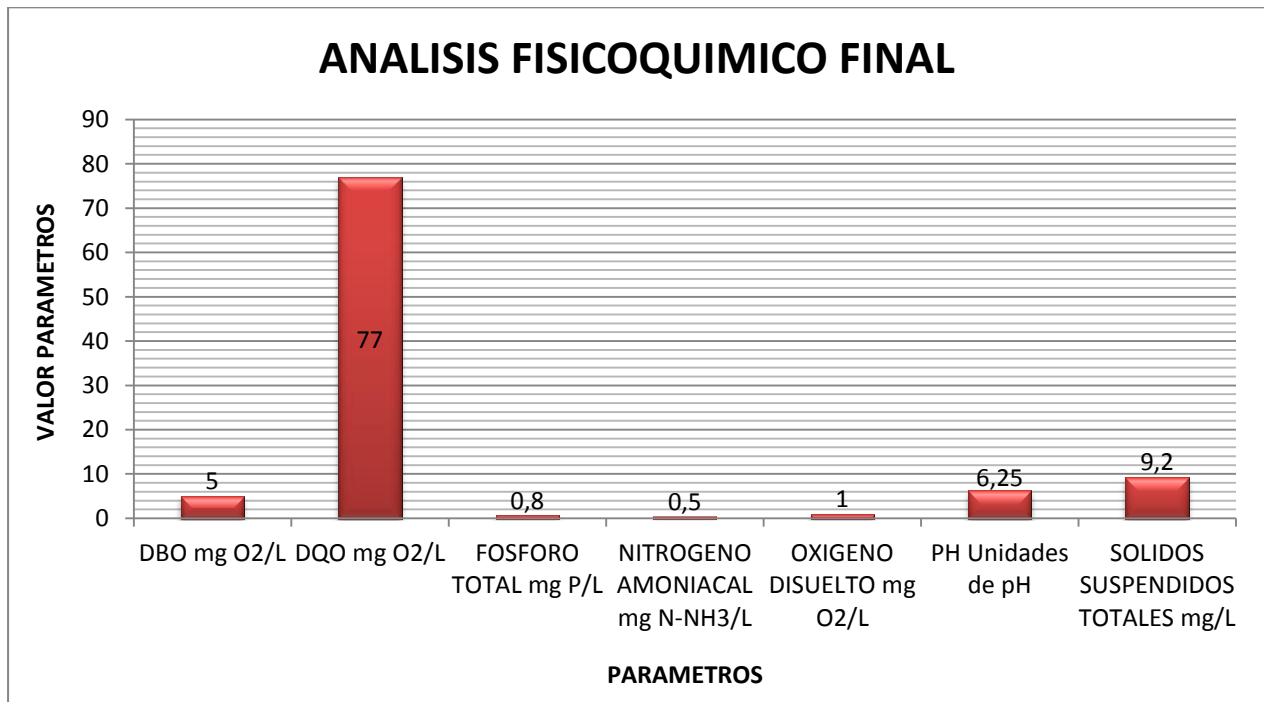
Tabla 4. Análisis fisicoquímico de las dos muestras. Laboratorio Tecnoambiental

Cabe resaltar que unos de los efectos de la oxigenación que tuvo la bomba de aireación del sistema piloto es que ayudo al desarrollo de las reacciones biológicas, es decir, con el oxígeno que produjo la bomba de aireación permitió el desarrollo y la respiración de los microorganismos aerobios, contribuyendo a la eliminación de la materia orgánica.

Durante el segundo mes del proceso de tratamiento el sistema de simulación de oxidación de la planta piloto presento algunos daños razón por la cual se presentó una variación en uno de los parámetros a evaluar.



Grafica 1. Resultado análisis inicial. Fuente Autores



Grafica 2. Resultado análisis final. Fuente Autores

El porcentaje de remoción fue hallado mediante la fórmula:

$$\% \text{ remocion} = \frac{V_{pi} - V_{pf}}{V_{pi}} \times 100$$

En donde,

V_{pi} = Valor de Parámetro inicial

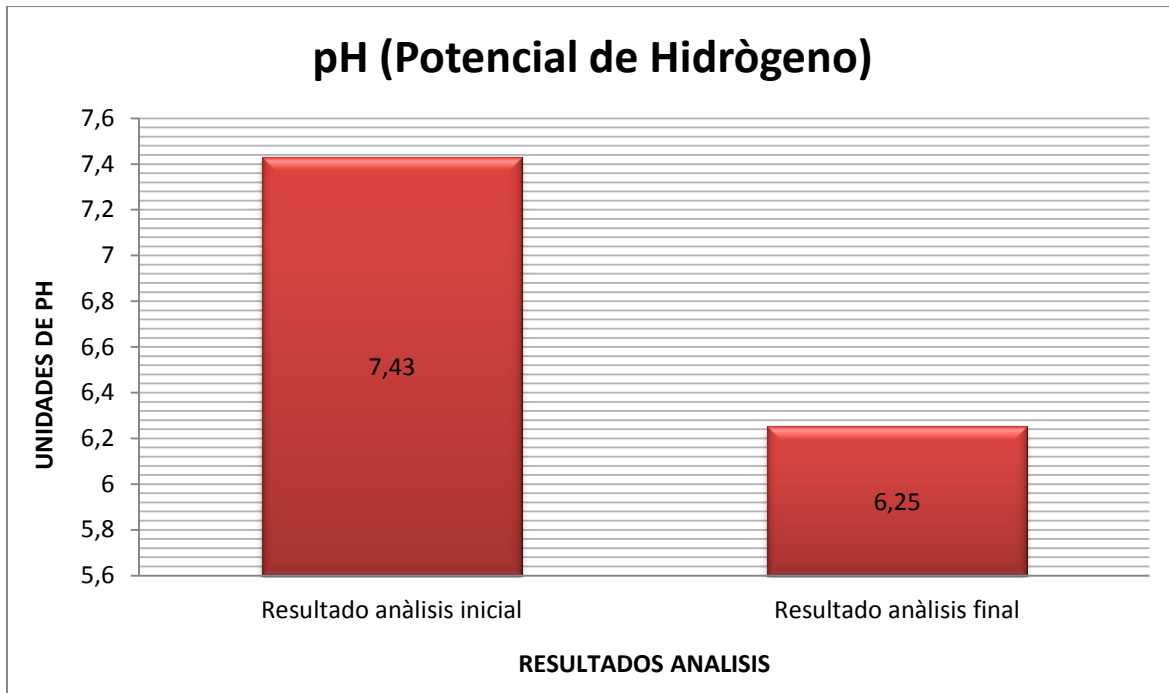
V_{pf} = Valor de Parámetro final

De los análisis fisicoquímicos realizados al agua después del tratamiento con el Pasto Vetiver se obtuvieron los siguientes resultados:

7.2.1 pH

El pH es una unidad de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad del agua. La escala del pH va desde 0 a 14 donde: El agua con un pH inferior a 7 se considera ácida (mayor concentración de iones de H^+). El agua con un pH superior a 7 se considera básica (menor concentración de iones de H^+). El agua con un pH de 7,0 se considera neutral.

En la muestra inicial del pH (7,43 unidades) se encontro dentro de los valores límites máximos permisibles. Con la implementacion del sistema vetiver se redujo a 6,25 unidades, lo que significa que el agua se volvió ligeramente ácida, pero igualmente cumpliendo dentro de lo establecido de la norma.

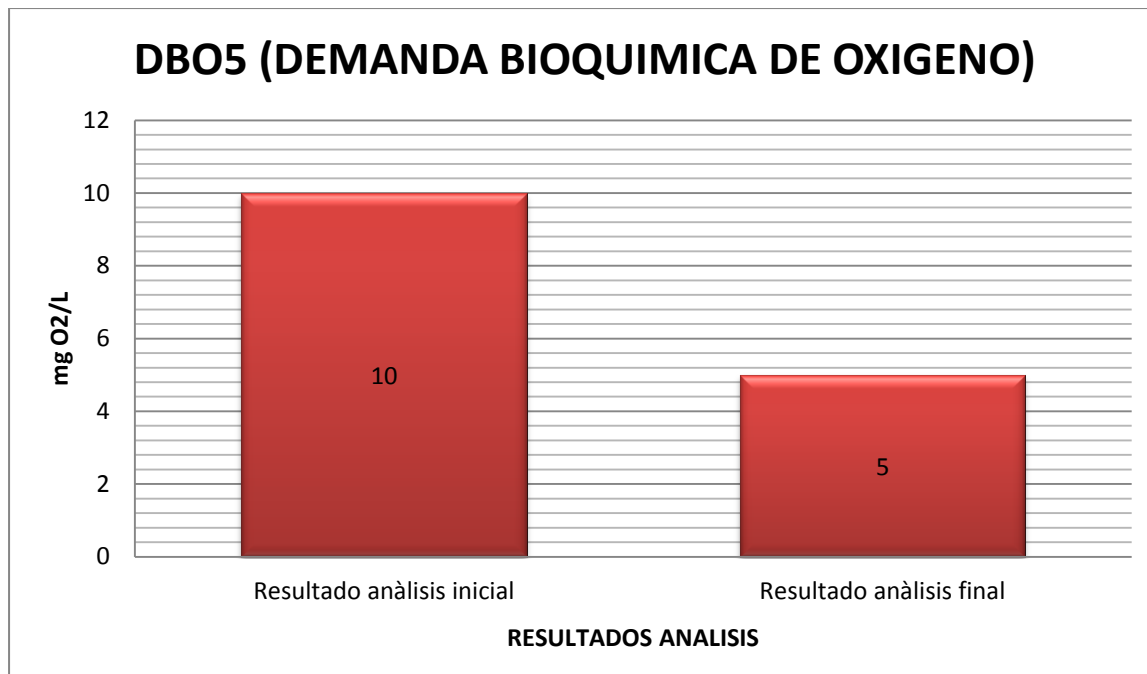


Grafica 3. Resultados pH. Fuente: Autores

7.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Esencialmente, la DBO₅ es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C (IDEAM, 2007).

Con el montaje del sistema vetiver la DBO₅ se redujo de 10 a <5 mg O₂/L, lo que sugiere que la presencia del pasto vetiver afecta ligeramente la reducción de este parámetro. Reducción de niveles de DBO del 50%.



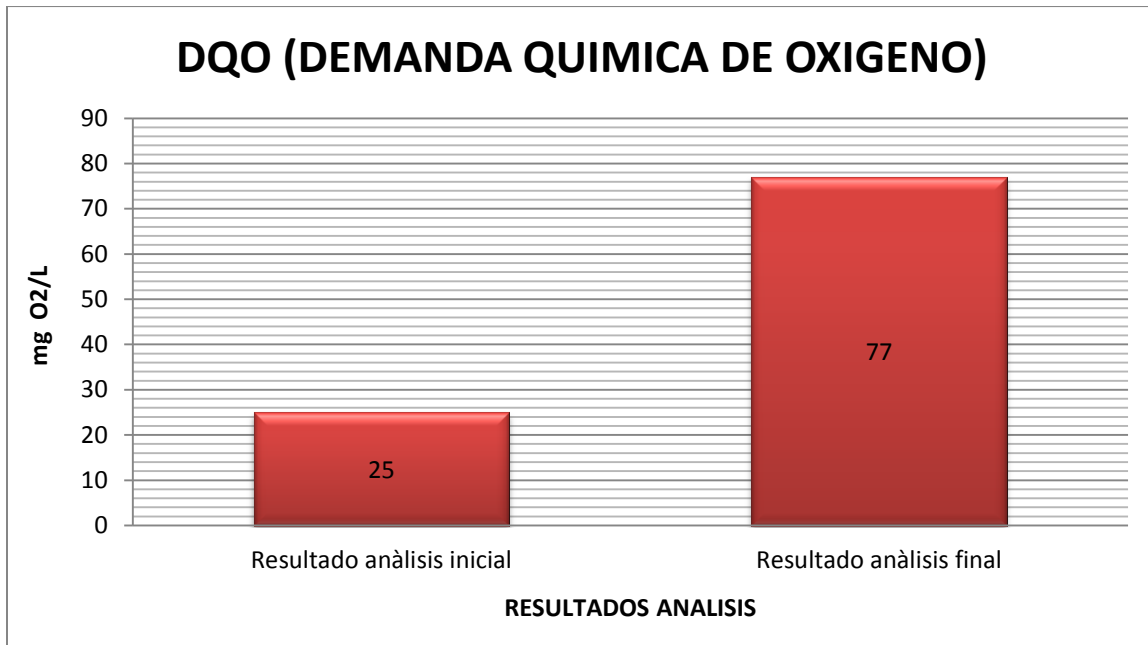
Grafica 4. Resultados DBO₅. Fuente: Autores

7.2.3 Demanda química de oxígeno (DQO)

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

Respecto a la DQO aumento, lo que da como resultado que se requiere de mayor demanda química de oxígeno para la oxidación química de la materia orgánica oxidable presente en el agua.

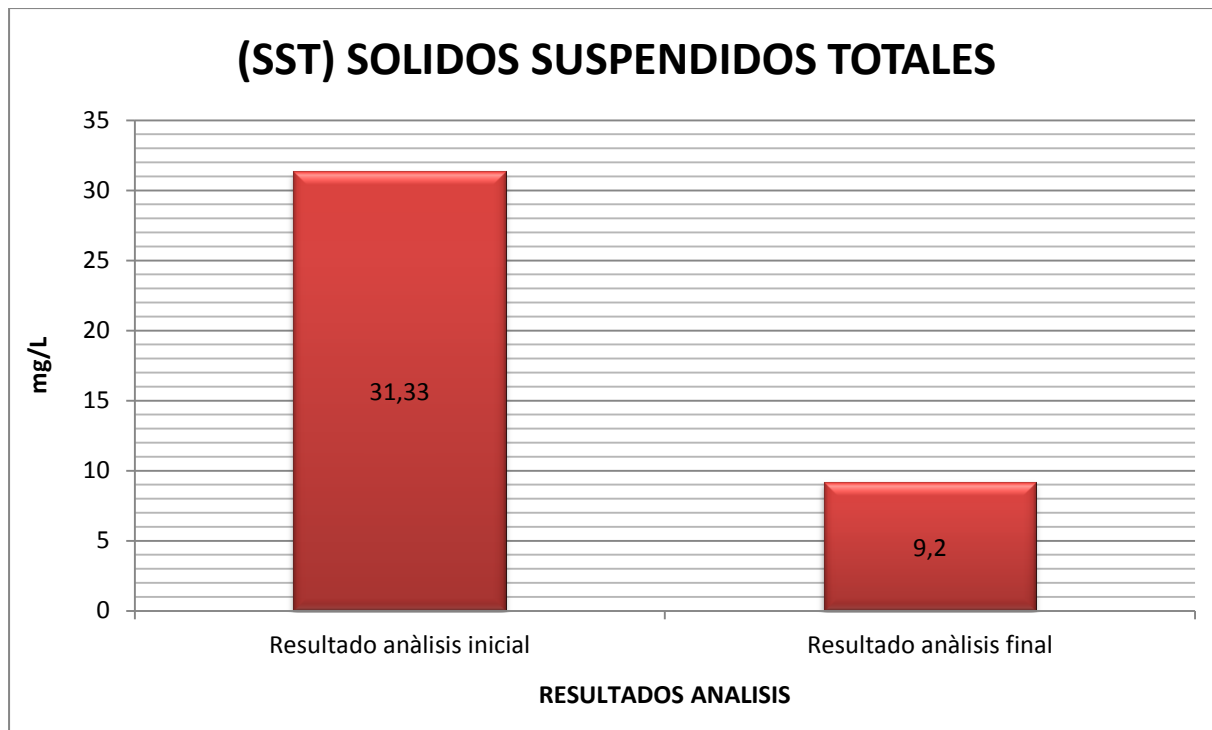
El aumento respecto a la DQO, es coherente al comportamiento del oxígeno disuelto, el cual disminuyo por un fallo en el sistema de oxigenado, además debido al proceso de mineralización y la acumulación de solidos sedimentados se estima una acidificación del agua que pudo llegar a afectar el aumento ocurrido, teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulico durante el sistema de operación de la planta piloto.



Grafica 5. Resultados DQO. Fuente: Autores

7.2.4 Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables (IDEAM, 2007). El sistema vetiver gracias a sus raíces redujo de un 31,33 a <9,2 mg/L los sólidos suspendidos totales. Reducción de niveles de sólidos suspendidos totales del 70,6%.

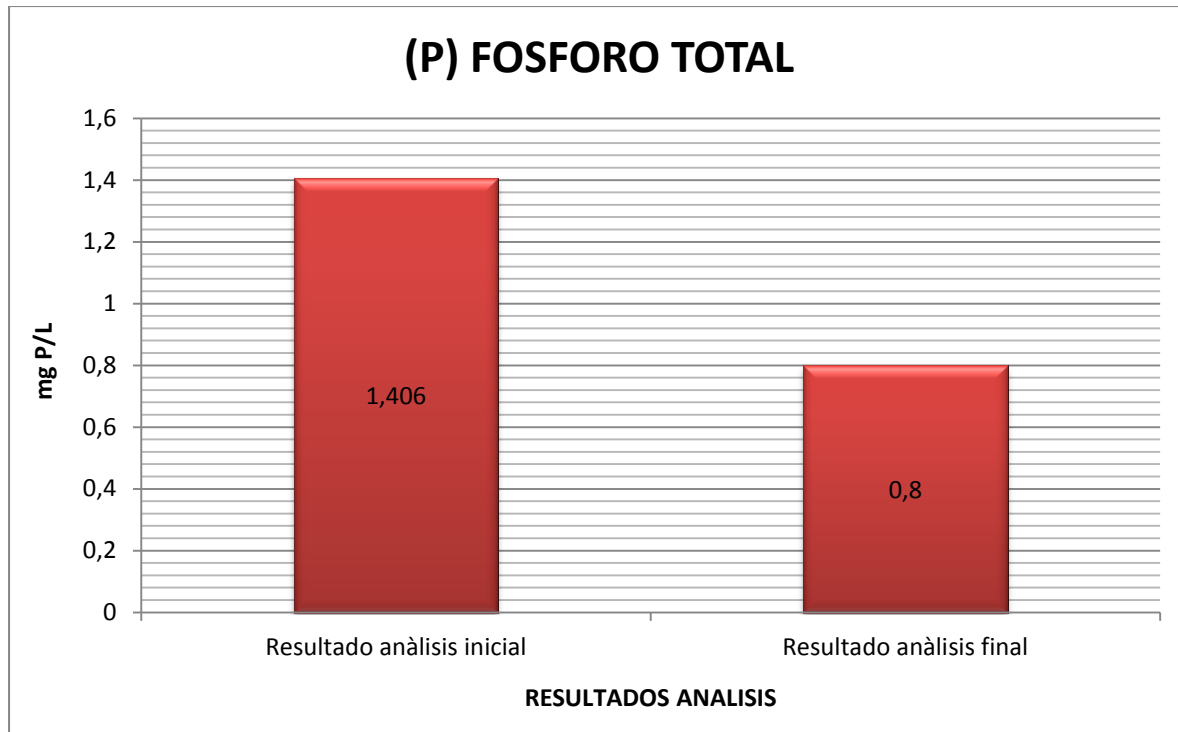


Grafica 6. Resultados Sólidos Suspendidos Totales. Fuente: Autores

7.2.5 Fosforo total (P)

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas, el fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y otros poli fosfatos) y fosfatos orgánicos. El fósforo total (P) se determina en una muestra sin filtrar y en ella están presentes todas las formas de fósforo (IDEAM, 2004).

Con el montaje del sistema vetiver hubo una alta reducción de niveles de fosforo de 1,406 a <0,8 mg/L del fosforo total, es decir una reducción del nivel de fosforo del 43,10%.

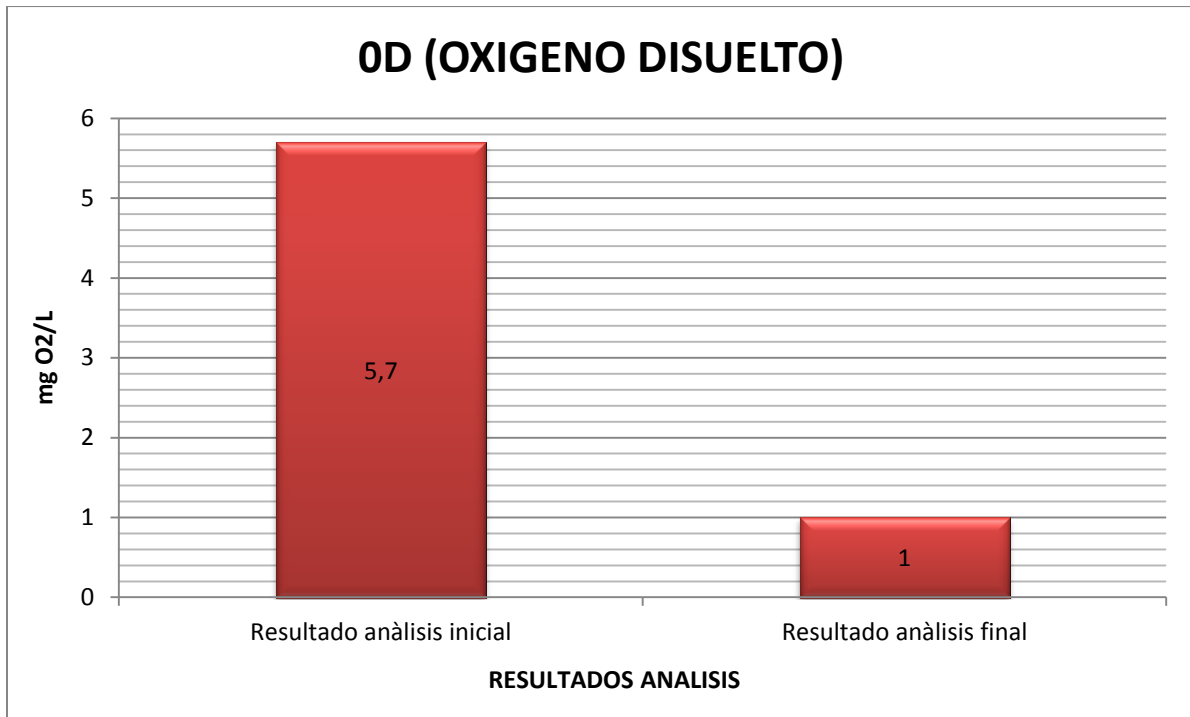


Grafica 7. Resultados Fosforo Total. Fuente: Autores

7.2.6 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto (OD) es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios así como para otras formas de vida aerobia. No obstante, el oxígeno es ligeramente soluble en el agua; la cantidad real de oxígeno que puede estar presente en la solución está determinada por a) la solubilidad del gas, b) la presión parcial del gas en la atmósfera, c) la temperatura, y d) la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos) (IDEAM, 2004). En el montaje del vetiver el oxígeno disuelto osciló de 5,7 a 1,0 mg O₂/L.

Debido a una falla mecánica que se presentó en la bomba de aireación el oxígeno disuelto bajo.



Grafica 8. Resultados Oxígeno Disuelto. Fuente: Autores

8. Conclusiones

- ✓ La implementación del Pasto Vetiver como tratamiento de descontaminación del agua Residual agroindustrial (Pecuaria), tuvo éxito en remoción de la mayoría de los Parámetros Fisicoquímicos analizados
- ✓ Se evidenció mediante los análisis tomados antes y después del tratamiento con el Pasto Vetiver que los Parámetros DBO, Fosforo Total, Oxígeno Disuelto, pH y solidos Suspendidos Totales tuvieron una remoción significativa.
- ✓ La falta de oxigenación del agua debido a un fallo en la bomba de aireación generó incremento en la Demanda Química de Oxígeno.
- ✓ Se evaluaron inicialmente los parámetros Fisicoquímicos DBO,DQO, OD, Solidos Suspendidos Totales, Ph, Fosforo Total y Nitrógeno Amoniacal, del agua residual pecuaria donde se observó que todos los parámetros están cumpliendo con los límites máximos permisibles según de la Resolución 0631 de 2015, Capitulo VII Artículo 15.
- ✓ El método de tratamiento de Agua Residual Agroindustrial Pecuaria realizado en la Colonia Penal Agrícola, evidencia la capacidad de remoción de la Planta Pasto Vetiver y promueve a la reducción del impacto ambiental y ecológico.
- ✓ Las condiciones diseñadas del sistema piloto y las características del Agua residual a tratar fueron óptimas para el adecuado crecimiento y función del Pasto Vetiver.
- ✓ De acuerdo al proyecto de investigación realizado en la Colonia Penal Agrícola, mediante la utilización del Pasto Vetiver cabe recalcar que es una especie muy benéfica y practica de manejar.
- ✓ La implementación de un sistema de Tratamiento de Agua Residual con Pasto vetiver resulta ser una opción de bajo costo, aplicable a la necesidad de la Colonia Penal Agrícola.

9. Recomendaciones

- ✓ Evidenciando el grado de remoción de parámetros en aguas Residuales Agroindustriales (Piscícolas), se podría promover como una alternativa para una futura implementación de tratamiento a los acuicultores o piscicultores de la región.
- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos en la remoción de Parámetros fisicoquímicos cabe la posibilidad de realizar un análisis de laboratorio más detallado, con el fin de evaluar la capacidad para solicitar Reúso del agua en los cultivos de Pasto en la Colonia Penal Agrícola.
- ✓ La utilización de la planta Pasto Vetiver logra ser una opción de menor costo comparado con otros sistemas de tratamiento.
- ✓ Para la implementación a escala Real del Sistema de Tratamiento de Aguas de la Colonia Penal se recomienda la utilización de un método de oxigenación constante.
- ✓ Para tratar continuamente aguas residuales agroindustriales con el sistema vetiver debemos avanzar mucho más en conocer la relación efectiva entre el número de plantas, la superficie de terreno necesaria, los volúmenes de agua a tratar y la calidad de los efluentes.

Referencias

- Alegre, J. (2007). *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides)*. Obtenido de http://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf
- Boyd, C. E. (2003). *Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level*. Obtenido de http://www.uesc.br/cursos/pos_graduacao/mestrado/animal/bibliografia2013/luis_art2_boyd.pdf
- Brix, H., & Schierup, H. (1989). *The use of aquatic macrophytes in water-pollution control*. Obtenido de http://www.academia.edu/1847597/The_use_of_aquatic_macrophytes_in_water-pollution_control
- Buschmann, A., Gutierrez, A., Aroca, G., & Hernández-González, M. (2005). *Seaweed cultivation, product development and integrated aquaculture studies in Chile*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/242419794_Seaweed_cultivation_product_development_and_integrated_aquaculture_studies_in_Chile
- Chaux, G. (2011). *Evaluación del comportamiento de un sistema de Lagunas de Azolla Pinnata para el tratamiento de efluentes de producción de Tilapia*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7662/1/7720-0445523.pdf>
- Cisneros, D. I. (2016). *Evaluación y diagnóstico ambiental de los cuatro sistemas productivos piscícolas en la cuenca alta del Río Bobonaza, Parroquia Veracruz, Pastaza*. Obtenido de <http://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/handle/123456789/168/CISNEROS%20SILVA%20DANIEL%20ISRAEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corporación Financiera Internacional - IFC. Grupo del Banco Mundial. (2007). *Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para la acuicultura*. Obtenido de <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/68837f804885542db1b4f36a6515bb18/0000199659ESes%2BAquaculture%2Brev%2Bcc.pdf?MOD=AJPERES>
- Costa, M., Santos, M., Carrapico, F., & Pereira, A. (2009). *Azolla–Anabaena’s behaviour in urban wastewater and artificial media – Influence of combined nitrogen*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Carrapico/publication/251774173_Azolla_WR_2009/links/00b4951f173195ac39000000.pdf
- Cripps, S., & Bergheim, A. (2000). *Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/240398810_Solids_management_and_removal_for_intensive_land-based_aquaculture_production_systems
- Da Silva, J. A. (2006). *Fitotratamento de efluente de aquacultura com Azolla filiculoides*. Obtenido de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/11181/000605078.pdf?sequence=1>

- FAO. (s.f). *Visión general del sector acuícola nacional. Colombia.* Obtenido de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_colombia/es#tcN70019
- Fernández, J., Luna, M., & García, M. (2009). *Estudio de la filtración ascendente en gravas en el tratamiento de efluentes de la producción de tilapia roja (Oreochromis sp.).* Obtenido de <http://ublogs.unicauca.edu.co/wp-content/uploads/sites/37/2014/11/ing-hoy-312222.pdf>
- Forni, C., Chen, J., Tancioni, L., & Caiola, M. (2001). *Evaluation of the fern Azolla for growth, nitrogen and phosphorus removal from wastewater.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/12017828_Evaluation_of_the_fern_Azolla_for_growth_nitrogen_and_phosphorus_removal_from_wastewater
- Gál, D., Szabó, P., Pekár, F., & Váradi, L. (2003). *Experiments on the nutrient removal and retention of a pond recirculation system.* Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1023/B:HYDR.0000008589.46810.af>
- Ghaly, A., Kamal, M., & Mahmoud, N. (2004). *Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed.* Obtenido de <http://envismadrasuniv.org/Bioremediation/pdf/Phytoremediation%20of%20aquaculture%20wastewater.pdf>
- Gonzaga, G., Silva, H., & Monteiro, A. F. (2008). *El tratamiento de los efluentes de camarón por macrófitas flotantes.* Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982008000200002
- González, J. A. (2012). *Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema.* Obtenido de <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ca/article/view/1323/1208>
- Henry-Silva, G., & Monteiro, A. (2006). *Efficiency of aquatic macrophytes to treat nile tilapia pond effluents.* Obtenido de <http://www.revistas.usp.br/sa/article/view/22185/24209>
- IDEAM. (2004). *Determinación de Oxígeno Disuelto por el método yodométrico modificación de azida.* Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>
- IDEAM. (2004). *Fòsfora Total en agua por digestiòn àcida, mètode del àcido ascorbico.* Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/F%C3%B3sforo+Total+en+Agua+M%C3%A9todo+del+Acido+Asc%C3%B3rbico.pdf/bf2f449b-4b9b-4270-b77e-159258d653e2>
- IDEAM. (2007). *Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, Incubaciòn y Electrometrìa .* Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

- IDEAM. (2007). *Demanda Química de Oxígeno por reflujo cerrado y volumetría*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%A4Dgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- IDEAM. (2007). *Sólidos Suspendidos Totales en agua secados a 103 - 105 °C*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- Kubitza, F. (1998). *Qualidade da Água na Produção de Peixes - Parte II*. Obtenido de <http://www.projetopacu.com.br/public/paginas/207-panorama-da-aquicultura-qualidade-de-gua-parte-2.pdf>
- Lazur, A., & Britt, D. (1997). *Pond Recirculating Production Systems*. Obtenido de http://www.aces.edu/dept/fisheries/education/ras/publications/facility_design/Pond%20Recirculating%20Production%20systems%20455fs.pdf
- Lin, Y.-F., Jing, S.-R., Der-Yuan, L., Chang, Y.-F., Chen, Y.-M., & Shih, K.-C. (2004). *Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/8109304_Performance_of_a_Constructed_Wetland_Treating_Intensive_Shrimp_Aquaculture_Wastewater_under_High_Hydraulic_Loading_Rate
- Luna, M. A. (2011). *Efluente Piscícolas: Características Contaminantes, Impactos y Perspectivas de Tratamiento*. Obtenido de <http://jci.uniautonoma.edu.co/2011/2011-2.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico#documentos-de-interés>
- Nduwimana, A., Xiang-Long, Y., & Li-ren, W. (2007). *Evaluation of a cost effective technique for treating aquaculture water discharge using Lolium perenne Lam as a biofilter*. Obtenido de http://www.jesc.ac.cn/jesc_cn/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=2007190911
- Pardo, S., Suárez, H., & Soriano, E. (2006). *Tratamiento de Efluentes: Una vía para la Acuicultura responsable*. Obtenido de <http://revistas.unicordoba.edu.co/revistamvz/MVZ-111s/111s-3.pdf>
- Pfeiffer, T., Osborn, A., & Davis, M. (2008). *Particle sieve analysis for determining solids removal efficiency of water treatment components in a recirculating aquaculture system*. Obtenido de <http://naldc.nal.usda.gov/download/20641/PDF>

- Posadas, B. (s.f). *Comparative economic analysis of using different sizes of constructed wetlands in recirculating catfish pond production.* Obtenido de <http://eurekamag.com/research/003/684/003684981.php>
- Qin, G., Liu, C., Richman, H., & Moncur, J. (2004). *Aquaculture wastewater treatment and reuse by wind-driven reverse osmosis membranetechnology: a pilot study onCoconut Island, Hawaii.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/222700255_Aquaculture_wastewater_treatment_and_reuse_by_wind-driven_reverse_osmosis_membrane_technology_A_pilot_study_on_Coconut_Island_Hawaii
- Redding, T., Todd, S., & Midlen, A. (1997). *The Treatment of Aquaculture Wastewaters—A Botanical Approach.* Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479797901122>
- Sharrer, M., Tal, Y., Ferrier, D., Hankins, J., & Summerfelt, S. (2007). *Membrane biological reactor treatment of a saline backwash flow from a recirculating aquaculture system.* Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860906000938>
- Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z., & Rijn, J. v. (2002). *Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system.* Obtenido de <http://cmit.nkmu.edu.tw/Reference/Literature/Culture%20System/Tilapia%20Zero-discharge%20RAS.pdf>
- Tacon, A., & Matthias, H. (s.f.). *La acuicultura en jaulas: un panorama mundial.* Obtenido de <https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=Tacon+A,+Forster+I.+Aquafeeds+y+el+Medio+ambiente:+implicaciones+pol%C3%ADticas>
- Troell, M., Halling, C., Neori, A., Charles, Y., Chopin, T., Buschmann, A., y otros. (2003). *Integrated mariculture: asking the right questions.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/223835269_Integrated_Mariculture_Asking_The_Right_Questions
- Troell, M., Neori, A., Chopin, T., & Buschmann, A. (2004). *Biological wastewater treatment in aquaculture - more than just bacteria.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/234596596_Biological_wastewater_treatment_in_aquaculture_-_more_than_just_bacteria_A_Comment
- Troell, M., Neori, A., Chopin, T., & Buschmann, A. (2005). *Biological wastewater treatment in aquaculture - more than just bacteria. A Comment .* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/234596596_Biological_wastewater_treatment_in_aquaculture_-_more_than_just_bacteria_A_Comment
- Troell, M., Ronnback, P., Halling, C., Buschmann, A., & Kautsky, N. (1999). *Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture.* Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/225842585_Ecological_engineering_in_aquaculture_Use_of_seaweeds_for_removing_nutrients_from_intensive_mariculture

True, B., Johnson, W., & Chen, S. (2004). *Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture III: assessing high-rate filtration media for effluent solids and phosphorus removal*. Obtenido de https://articles.extension.org/mediawiki/files/4/48/Reducing_Phosphorus_discharge_from_flow-through_aquaculture_.pdf

Truong, P., Tan Van, T., & Pinnars, E. (s.f). *Vetiver System Applications. Technical Reference Manual*. Obtenido de http://www.vetiver.org/TVN-Manual_Vf.pdf

Weisner, S., Eriksson, P., Graneli, W., & Leonardson, L. (1994). *Influence of Macrophytes on Nitrate Removal in Wetlands*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/259582271_Influence_of_Macrophytes_on_Nitrate_Removal_in_Wetlands

10. Anexos

11.1 Anexo A

Resultados análisis 27 Diciembre 2016



TECNO Ambiental S.a.s.
Asesoría y laboratorio



Página 1 de 1

RESULTADO DE ANÁLISIS

T.A. 28300

MUESTRA No.

Solicitante: NEIFY YANETH GÓMEZ PARDO **Dirección:** Calle 16 a # 4 - 78
Contacto: Neify Yaneth Gómez Pardo **Teléfonos:** 3123164019
Clase de muestra: Agua Residual Industrial **Tipo de muestra:** Puntual
Fecha de toma: Diciembre 27, 2016 **Hora de Toma:** 02:15 p.m.
Departamento: Meta **Municipio:** Acacias
Vereda/Barrio: Colonia Agrícola **Fuente:** Vertimiento Agua Piscicola
Punto: Canal **Lugar de muestreo:** Colonia Penal Agrícola
Fecha Recepción: Diciembre 27, 2016 **Fecha de emisión del reporte:** Enero 13, 2017

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
D.B.O ₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B SM 4500 O G	10
D.Q.O.	mg O ₂ /L	SM 5220 C	25
FOSFORO TOTAL**	mg P/L	SM 4500 P B, C	1,406
NITROGENO AMONICAL	mg N-NH ₃ /L	SM 4500 NH ₃ B C	< 0,5
OXIGENO DISUELTO*	mg O ₂ /L	SM 4500 O C	5,7
pH*	UND	SM 4500 H ⁺ B	7,43
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**	mg/L	SM 2540 D	31,33

* Parámetro medido en el Laboratorio.

**Reporte Laboratorio Externo.

TECNO Ambiental S.A.S.
Asesoría y Laboratorio
Nit. 992.001.739 - 0
NOE FRANCISCO JIMENEZ M.
Jefe de Laboratorio
P.Q.1.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/

FIN DEL RESULTADO

11.2 Anexo B

Resultados Análisis Marzo 1 de 2017



TECNO Ambiental S.a.s.
Asesoría y Laboratorio



Página 1 de 1

RESULTADO DE ANÁLISIS

T.A. 28782

MUESTRA No.

Solicitante: NEIFY GOMEZ PARDO Dirección: Calle 16a # 4-78
 Contacto: No Reporta Teléfonos: 3123164019
 Clase de muestra: Agua Residual Tipo de muestra: Puntual
 Fecha de toma: Marzo 01, 2017 Hora de Toma: 03:00 p.m.
 Departamento: Meta Municipio: Acacias
 Vereda/Barrio: Colonia Agrícola Fuente: Sistema Tratamiento Piloto
 Punto: Caneca Lugar de muestreo: Colonia Penal Agrícola
 Fecha Recepción: Marzo 01, 2017 Fecha de emisión del reporte: Marzo 23, 2017

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
D.B.O ₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B SM 4500 O G	< 5
D.Q.O.	mg O ₂ /L	SM 5220 C	77
FOSFORO TOTAL**	mg P/L	SM 4500 P B, C	< 0,8
NITROGENO AMONICAL	mg N-NH ₃ /L	SM 4500 NH ₃ B C	< 0,5
OXIGENO DISUELTO*	mg O ₂ /L	SM 4500 O C	1,0
pH*	UND	SM 4500 H ⁺ B	6,25
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**	mg/L	SM 2540 D	< 9,2

* Parámetro medido en el Laboratorio.

**Reporte Laboratorio Externo.

TECNO Ambiental S.A.S.
Asesoría y Laboratorio
Tel: 312.739.001.739 - 0
NOÉ FRANCISCO JIMENEZ.
Jefe de Laboratorio
P.Q.I.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/

FIN DEL RESULTADO

11.3 Anexo C

Registro Fotográfico







11.4 Anexo D

Cronograma

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Recolección de información “Sistema Vetiver”	■	■																						
Traslado del Vetiver			■	■																				
Compra de materiales			■	■																				
Preparación del sitio					■	■																		
Montaje del Sistema Vetiver							■	■																
Cotización y búsqueda del laboratorio									■	■														
Análisis fisco-químicos											■									■				
Encuentros con el Asesor del proyecto de la UNAD					■				■				■				■				■			■
Elaboración de Documento final													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Entrega doc. Final y sustentación																					■	■	■	■

11.5 Anexo E

Hoja de campo toma de muestras



HOJA DE CAMPO

Pág. 1 de

VER INSTRUCTIVO PARA DILIGENCIAR LA HOJA DE CAMPO AL RESPALDO

Muestra No _____ TA _____

Solicitante: _____ Nit: _____

Responsable: _____ Dirección: _____ Tel: _____

Fecha de toma: _____ Hora de toma: _____

Departamento: _____ Municipio: _____ Vereda - Barrio _____

Fuente: _____ Punto de muestreo: _____

Lugar de muestreo: _____

Clase de muestra: Superficial () Cruda () Tratada ()
Residual domestica () Residual industrial () Otra _____

Tipo de muestra: Puntual () Integrada () Compuesta () Preservación SI () NO ()

Tipo de Ecosistema: Lotico: () Lentico: () Análisis In Situ: SI () NO () No. Anexos _____

Marque con una "X" al frente de los análisis solicitados: Cotización N°.

PARAMETROS

Acidez Total	Cromo Total	Nitrógeno amoniacal	Transparencia
Alcalinidad Total	D.B.O ₅	Nitrógeno total Kjeldhal	Zinc Total
Aluminio Total	D.O.O	Ortofosfatos	Coliformes Totales
Aluminio Disuelto	Dióxido de Carbono	Olor	Coliformes Termotolerantes
Amonio	Dureza Cálcica	Oxígeno disuelto	Escherichia Coli
Amoniacal	Dureza Magnésica	pH	Enterococos Fecales
Arsénico Total	Dureza total	Plata Total	Helmintos Parásitos Humanos
Bicarbonatos	Fenoles Totales	Plomo Total	Pseudomonas Aeruginosa
Cadmio Total	Fluoruros	Potasio	Mesofilos
Calcio	Fosfatos	Sabor	Salmonella sp.
Carbonatos	Fósforo total	Selenio Total	Fauna Ictica
Cianuro Libre	Grasas y Aceites	Sodio	Fitoplancton
Cianuro Total	Hidrocarburos Totales	Sólidos disueltos	Macrofitas
Cloro residual libre	Hidróxidos	Sólidos sedimentables	Macroinvertebrados Acuáticos
Cloro Total	Hierro total	Sólidos suspendidos	Perifiton
Cloruros	Magnesio	Sólidos totales	Zooplancton
Cobre Total	Manganeso Total	Sulfatos	Caudal
Cobalto Total	Materia flotante	Sulfuros	
Color aparente	Mercurio Total	Temperatura	
Color Real	Níquel Total	Tensoactivos (SMM)	
Conductividad	Nitratos	Turbidez	
Cromo Hexavalente	Nitritos	Tratabilidad	

NOMBRE Y FIRMA DE QUIEN TOMA LA MUESTRA: _____

11.6 Anexo F

Protocolo toma muestra oxígeno disuelto



TIBONCO Ambiental S.a.s.

Una empresa de la organización WSP | Parsons Brinckerhoff.

TOMA DE MUESTRA Y PRESERVACION PARA OXIGENO DISUELTO

Métodos 4500-0-c Modificación de Azida

Procedimiento fijación de Oxígeno Disuelto

1. Enjuagar varias veces el frasco Winkler con el agua a analizar.
2. Llenar el frasco con la muestra de agua hasta derramarse, sin que se produzcan o queden burbujas de aire.
3. Añadir veinte (20) gotas del reactivo N° 1 (sulfato manganoso)
4. Adicionar veinte (20) gotas del reactivo N° 2 (azida de sodio)
5. Tapar el frasco con cuidado, con el tapón esmerilado, sin que quede burbujas de aire y agitar invirtiendo varias veces el frasco durante 10 segundos.
6. Dejar en reposo hasta que el precipitado se ha depositado suficientemente hasta aproximadamente la mitad del volumen del frasco.
7. Destapar y añadir veinte (20) gotas del reactivo N° 3 (Ácido sulfúrico H_2SO_4 "Manejar con precaución, en caso de contacto con la piel o los ojos, enjuagar con abundante agua").
8. Vuelva a tapar el frasco con el tapón esmerilado, sin que quede burbujas de aire y mezcle invirtiendo varias veces hasta disolución completa.
9. Conserve el frasco en temperatura y en la oscuridad hasta llegar al laboratorio.

USO DEL CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES COMO ALTERNATIVA NATURAL PARA DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE EN EFLUENTES PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD PISCÍCOLA EN LA COLONIA AGRÍCOLA DE ACACIAS -META

Rico Torres Fabio René¹, Gómez Pardo Neify Yaneth², Mejía Cáceres Daniel Enrique³.
ricot33@gmail.com
neify.ambiental@gmail.com
daniele.Mejia@unad.edu.co

Resumen— Se realizó el proyecto de investigación con el fin de evaluar el comportamiento del uso del Chrysopogon Zizanioides como alternativa natural para disminuir la carga contaminante en efluentes provenientes de la actividad piscícola en la Colonia Agrícola de Acacias –Meta.

Se desarrolló en un área del establecimiento Penitenciario y Carcelario de la Colonia Agrícola, ubicada en el sector rural del Municipio de Acacias – Meta; se recolectó una parte del efluente proveniente de los estanques donde se cultivan tilapia roja (*Oreochromis* sp), cachama blanca (*Piaractus brachyomus*) y yamú (*Brycon siebenthalae*), con el propósito de disminuir la carga contaminante mediante la aplicación de un proceso experimental (Sistema de Tratamiento piloto) utilizando una gramínea perenne, el Pasto Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*).

Se realizaron dos muestreos de laboratorio (uno inicial y otro final), donde se analizaron los parámetros DQO, DBO, OD (Oxígeno disuelto), Sólidos suspendidos totales, pH, Fósforo total y Nitrógeno amoniacal; con el fin de examinarlos y determinar su evolución, tratando de encontrar una restauración de dichos parámetros hasta alcanzar rangos apropiados basados en la Resolución 0631 de 2015.

Índice de Términos— Piscicultura, efluente, parámetros, *Chrysopogon Zizanioides*, muestreo.

Abstract

A research project was carried out in order to determine the use of *Chrysopogon Zizanioides* as a natural alternative to reduce pollutant load in effluents from fish farming in the Agrícola de Acacias-Meta.

It was developed in an area of the Penitentiary and Prison of the Agricultural Colony, located in the rural sector of the Municipality of Acacias - Meta; A part of the effluent from the ponds where red tilapia (*Oreochromis* sp), white snail (*Piaractus brachyomus*) and yamú (*Brycon siebenthalae*) were harvested, were collected in order to reduce the pollutant

load by applying an experimental process Of Pilot Treatment) using a perennial grass, Vetiver Grass (*Chrysopogon Zizanioides*).

Two laboratory samples (one initial and one final) were performed, where the parameters COD, BOD, OD (Dissolved Oxygen), Total Suspended Solids, pH, Total Phosphorus and Ammoniacal Nitrogen were analyzed; In order to examine them and determine their evolution, trying to find a restoration of these parameters until reaching appropriate ranges based on Decree 1076 of 2015.

Index of Terms— fish farming, effluent, parameters, *Chrysopogon Zizanioides*, sampling.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua debido a descargas de desechos líquidos, provenientes de actividades domésticas, industriales y/o agroindustriales constituye un gran problema ambiental y de salud pública, debido a las altas concentraciones de los parámetros físicos químicos de cada actividad.

El deterioro de la calidad del agua es un tema que contiene gran importancia, para ello se realizan diferentes alternativas de tratamiento del agua residual, en la actualidad algunas empresas no cuentan con el presupuesto para diseñar e implementar una Planta o un Sistema de Tratamiento de Agua Residual debido a la dificultad que se evidencia en el grado de contaminación de las fuentes hídricas.

Actualmente se han realizado diversas investigaciones que apuestan a realizar un tratamiento amigable con el medio ambiente, compensando los daños ocasionados, entre ellas se encuentra la Fitorremediación, bioabsorción, biorremediación entre otros.

Basados en la problemática ambiental sobre la contaminación del agua y apoyado en diversos estudios, surge el Proyecto de Investigación Uso del Chrysopogon Zizanioides (Pasto Vetiver) como una alternativa natural para disminuir la carga contaminante en efluentes provenientes de la actividad piscícola, desarrollado en la Colonia Penal Agrícola de la ciudad de Acacias-Meta.

Proyecto realizado mediante el diseño de un sistema de planta piloto a pequeña escala, se utilizó como unidad experimental el agua del efluente piscícola del establecimiento penitenciario y carcelario de la Colonia Penal; el sistema de tratamiento utilizado consiste en tres lagunas; una que recoge el efluente directamente de los estanques, otra con Chrysopogon Zizanioides a través del montaje de una plataforma de icopor, con la ayuda de un motor que hace la función de oxigenador, con el fin de realizar la simulación del sistema de oxidación y una última que funciona como almacenamiento del efluente después del tratamiento.

II. MARCO DE REFERENCIA

A. Marco geográfico

Este trabajo, se desarrolló a escala piloto, utilizando como unidad experimental el efluente de los estanques de tilapia roja, cachama blanca y yamú del establecimiento penitenciario y carcelario de la Colonia Agrícola, ubicada en el sector rural del Municipio de Acacias, km 3 vía a Villavicencio, departamento del Meta. La Colonia Agrícola cuenta con cinco estanques, 3 de cría de tilapia roja, 1 de cachama blanca y 1 de yamú, para fines comerciales, con una producción media de 8 toneladas anuales. Este efluente proveniente de la actividad piscícola es vertido a las aguas superficiales del caño Cola de Pato, perteneciente a la cuenca del río Acacias. La región posee un clima tropical, con temperatura promedio de 24 °C. Ubicación geográfica 40 00'16.97"N 730 46'46.04'O.

B. Marco conceptual

Agua Residual Doméstica

Las aguas Residuales domesticas son producidas por asentamientos de población, una parte de sus características son desechos del cuerpo humano. Dentro de las alternativas de tratamiento encontramos los tratamientos como Cribado, remoción de arena, tanques de almacenamiento e igualación, como tratamiento primario cuentan con implementación de tanques de Coagulación y flotación, dentro del tratamiento secundario encontramos filtros percoladores, sedimentación y lodos activados, disposición de lodos (tratamiento), y descarga de residuos líquidos ya tratados.

Agua Residual Agroindustrial

Según lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, la agroindustria hace relación a la transformación de productos procedentes de la agricultura, la actividad forestal y la pesca; es decir que, a partir de estos productos obtenidos de la tierra, de ríos y de mares, se elaboran materias primas y derivados del sector agrícola. La caracterización del agua Residual agroindustrial varía según el proceso de transformación y su naturaleza algunas contienen más carga orgánica, otras pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos.

El Tratamiento del Agua Residual Agroindustrial a comparación con el Agua Residual Domestica varía según su composición y concentración físico-química del agua debido a la actividad, procesamiento y manejo de materias primas.

Alternativas para el tratamiento de efluentes piscícolas

Algunas de las alternativas o técnicas utilizadas para el tratamiento de efluentes provenientes de la piscicultura van desde la filtración mecánica, filtros de grava en flujo ascendente, tanques de sedimentación, osmosis inversa, sistemas de humedales y lagunas, hasta la filtración de efluentes a través de plantas acuáticas.

III. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Con el fin de lograr resultados propicios con el Pasto vetiver y el sistema piloto en La Colonia Penal Agrícola, ubicado en el Municipio de

Acacias-Meta, se desarrolló un montaje adecuado para reducir los parámetros de contaminación.

Se procedió a la construcción de un área con el fin de lograr una protección sobre el sistema piloto. La Construcción del Sistema planta piloto consistió en similitud de tres lagunas, la primera laguna que recoge el efluente directamente de los estanques; la siguiente laguna se encuentra con *Chrysopogon Zizanioides* a través del sistema de flotación mediante el montaje de una plataforma de icopor, esta laguna posee una bomba de aireación que hace la función de oxigenador, con el fin de realizar la simulación del sistema de oxidación y la última laguna funcionó como recepción de almacenamiento del efluente después del tratamiento con el fin de evaluar la calidad del agua.

Cada laguna se construyó con recipientes cilíndricos de material termoplástico de 30 cm. de altura y 65 cm. de diámetro. La regulación de caudales se realizó mediante válvulas de bola.

IV. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE.

Los parámetros fisicoquímicos del agua residual proveniente de la piscicultura se determinaron empleando la metodología descrita en los métodos estándar (Standard Methods).

Los resultados obtenidos se compararon con los valores límites máximos permisibles según la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 Capítulo VII Artículo 15 Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD para las actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los Capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales, donde se puede observar que los parámetros fisicoquímicos se encuentran en concentraciones muy bajas, cumpliendo con la norma.

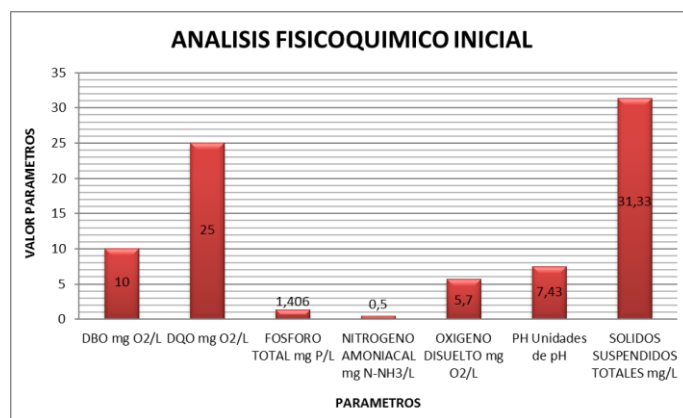
Diagnostico comparativo de los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento con el Pasto Vetiver: Cabe resaltar que unos de los efectos de la oxigenación que tuvo la bomba de aireación del sistema piloto es que ayudo al

desarrollo de las reacciones biológicas, es decir, con el oxígeno que produjo la bomba de aireación permitió el desarrollo y la respiración de los microorganismos aerobios, contribuyendo a la eliminación de la materia orgánica.

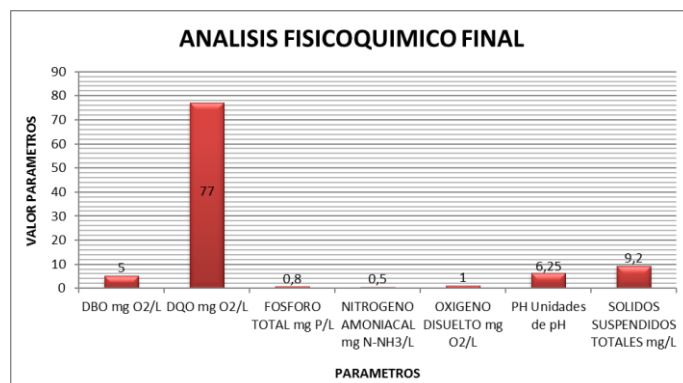
Durante el segundo mes del proceso de tratamiento, el sistema de simulación de oxidación de la planta piloto presento algunos daños razón por la cual se presentó una variación en uno de los parámetros a evaluar.

PARAMETRO	MUESTRA DE AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO	MUESTRA DE AGUA DESPUES DEL TRATAMIENTO
D.B.O ₅	10	<5
D.Q.O	25	77
FOSFORO TOTAL	1,406	<0,8
NITROGENO AMONIACAL	<0,5	<0,5
OXIGENO DISUELTO	5,7	1,0
PH	7,43	6,25
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	31,33	<9,2

Análisis fisicoquímico de las dos muestras. Laboratorio Tecnoambiental.



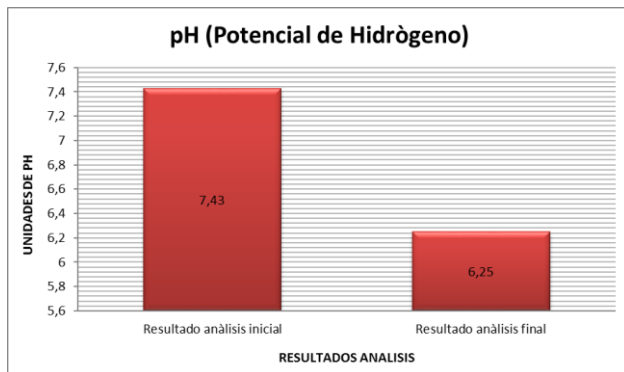
Resultado análisis inicial.



Resultado análisis final.

El pH: es una unidad de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad del agua. La escala del pH va desde 0 a 14 donde: El agua con un pH inferior a 7 se considera ácida (mayor concentración de iones de H+). El agua con un pH superior a 7 se considera básica (menor concentración de iones de H+). El agua con un pH de 7,0 se considera neutral.

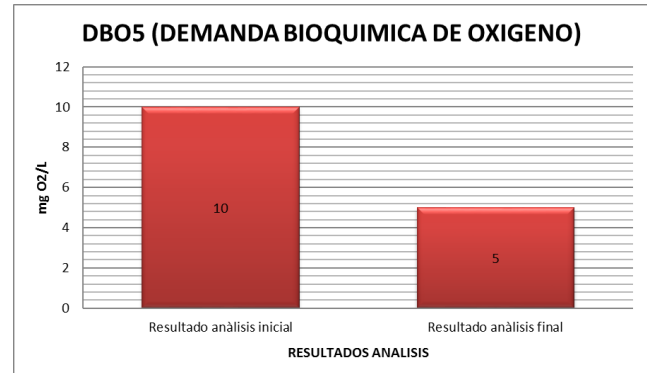
En la muestra inicial del pH (7,43 unidades) se encontró dentro de los valores límites máximos permisibles. Con la implementación del sistema vetiver se redujo a 6,25 unidades, lo que significa que el agua se volvió ligeramente ácida, pero igualmente cumpliendo dentro de lo establecido de la norma.



Resultados pH.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5): Esencialmente, la DBO5 es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C (IDEAM, 2007).

Con el montaje del sistema vetiver la DBO5 se redujo de 10 a <5 mg O₂/L, lo que sugiere que la presencia del pasto vetiver afecta ligeramente la reducción de este parámetro. Reducción de niveles de DBO del 50%.

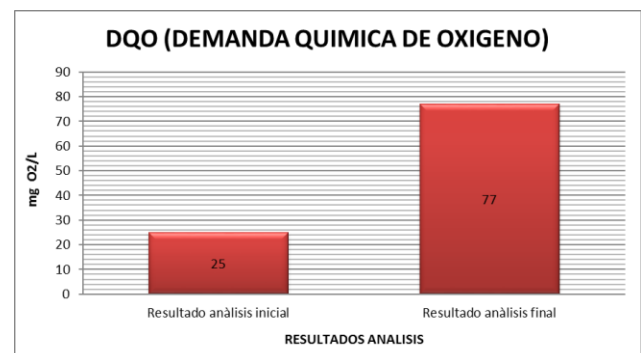


Resultados DBO5.

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

Respecto a la DQO aumento, lo que da como resultado que se requiere de mayor demanda química de oxígeno para la oxidación química de la materia orgánica oxidable presente en el agua.

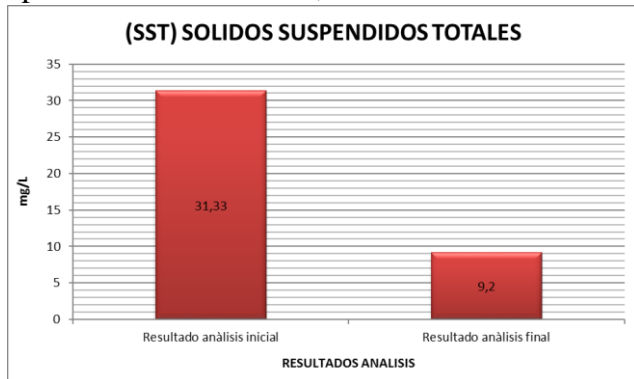
El aumento respecto a la DQO, es coherente al comportamiento del oxígeno disuelto, el cual disminuyó por un fallo en el sistema de oxigenado, además debido al proceso de mineralización y la acumulación de sólidos sedimentados se estima una acidificación del agua que pudo llegar a afectar el aumento ocurrido, teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulico durante el sistema de operación de la planta piloto.



Resultados DQO.

Sólidos suspendidos totales (SST): Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan

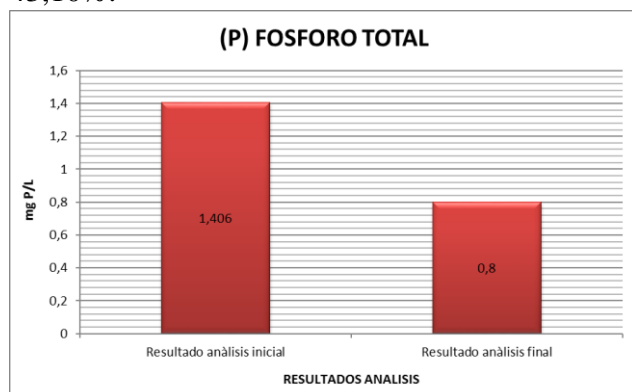
rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables (IDEAM, 2007). El sistema vetiver gracias a sus raíces redujo de un 31,33 a <9,2 mg/L los sólidos suspendidos totales. Reducción de niveles de sólidos suspendidos totales del 70,6%.



Resultados Sólidos Suspendidos Totales.

Fosforo total (P): El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas, el fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y otros polis fosfatos) y fosfatos orgánicos. El fósforo total (P) se determina en una muestra sin filtrar y en ella están presentes todas las formas de fósforo (IDEAM, 2004).

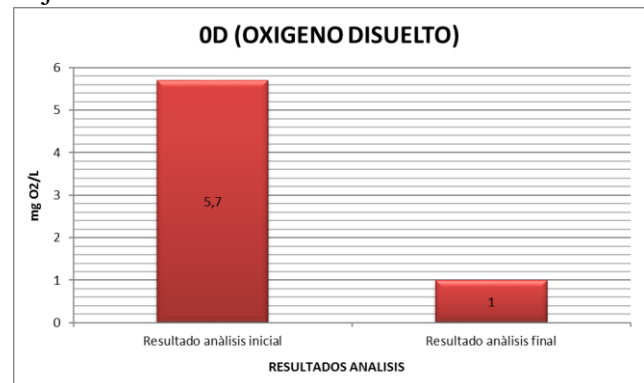
Con el montaje del sistema vetiver hubo una reducción de niveles de fosforo de 1,406 a <0,8 mg/L del fosforo total, es decir una reducción del nivel de fosforo del 43,10%.



Resultados Fosforo Total.

Oxígeno disuelto (OD): El oxígeno disuelto (OD) es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida aerobia. No obstante, el oxígeno es ligeramente soluble en el agua; la cantidad real de oxígeno que puede estar presente en la solución está determinada por a) la solubilidad del gas, b) la presión parcial del gas en la atmósfera, c) la temperatura, y d) la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos) (IDEAM, 2004). En el montaje del vetiver el oxígeno disuelto osciló de 5,7 a 1,0 mg O₂/L.

Debido a una falla mecánica que se presentó en la bomba de aire el oxígeno disuelto bajo.



Resultados Oxígeno Disuelto.

V. CONCLUSIONES

La implementación del Pasto Vetiver como tratamiento de descontaminación del agua Residual agroindustrial (Pecuaria), tuvo éxito en remoción de la mayoría de los Parámetros Físicoquímicos analizados

Se evidenció mediante los análisis tomados antes y después del tratamiento con el Pasto Vetiver que los Parámetros DBO, Fosforo Total, Oxígeno Disuelto, pH y solidos Suspendidos Totales tuvieron una remoción significativa.

La falta de oxigenación del agua debido a un fallo en la bomba de aireación generó incremento en la Demanda Química de Oxígeno.

Se evaluaron inicialmente los parámetros Físicoquímicos DBO, DQO, OD, Solidos Suspendidos Totales, Ph, Fosforo Total y Nitrógeno Amoniacal, del agua residual pecuaria donde se observó que todos los parámetros están cumpliendo

con los límites máximos permisibles según de la Resolución 0631 de 2015, Capítulo VII Artículo 15.

El método de tratamiento de Agua Residual Agroindustrial Pecuaria realizado en la Colonia Penal Agrícola, evidencia la capacidad de remoción de la Planta Pasto Vetiver y promueve a la reducción del impacto ambiental y ecológico.

Las condiciones diseñadas del sistema piloto y las características del Agua residual a tratar fueron óptimas para el adecuado crecimiento y función del Pasto Vetiver.

De acuerdo al proyecto de investigación realizado en la Colonia Penal Agrícola, mediante la utilización del Pasto Vetiver cabe recalcar que es una especie muy benéfica y práctica de manejar.

La implementación de un sistema de Tratamiento de Agua Residual con Pasto vetiver resulta ser una opción de bajo costo, aplicable a la necesidad de la Colonia Penal Agrícola.

RECOMENDACIONES

Evidenciando el grado de remoción de parámetros en aguas Residuales Agroindustriales (Piscícolas), se podría promover como una alternativa para una futura implementación de tratamiento a los acuicultores o piscicultores de la región.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la remoción de Parámetros fisicoquímicos cabe la posibilidad de realizar un análisis de laboratorio más detallado, con el fin de evaluar la capacidad para solicitar Reúso del agua en los cultivos de Pasto en la Colonia Penal Agrícola.

La utilización de la planta Pasto Vetiver logra ser una opción de menor costo comparado con otros sistemas de tratamiento.

Para la implementación a escala Real del Sistema de Tratamiento de Aguas de la Colonia Penal se recomienda la utilización de un método de oxigenación constante.

Para tratar continuamente aguas residuales agroindustriales con el sistema vetiver debemos avanzar mucho más en conocer la relación efectiva entre el número de plantas, la superficie de terreno necesaria, los volúmenes de agua a tratar y la calidad de los efluentes.

REFERENCIAS

- Alegre, J. (2007). *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides)*. Obtenido de http://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf
- Boyd, C. E. (2003). *Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level*. Obtenido de http://www.uesc.br/cursos/pos_graduacao/mestrado/animal/bibliografia2013/luis_art2_boyd.pdf
- Brix, H., & Schierup, H. (1989). *The use of aquatic macrophytes in water-pollution control*. Obtenido de http://www.academia.edu/1847597/The_use_of_aquatic_macrophytes_in_water-pollution_control
- Buschmann, A., Gutierrez, A., Aroca, G., & Hernández-González, M. (2005). *Seaweed cultivation, product development and integrated aquaculture studies in Chile*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/242419794_Seaweed_cultivation_product_development_and_integrated_aquaculture_studies_in_Chile
- Chaux, G. (2011). *Evaluación del comportamiento de un sistema de Lagunas de Azolla Pinnata para el tratamiento de efluentes de producción de Tilapia*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7662/1/7720-0445523.pdf>
- Cisneros, D. I. (2016). *Evaluación y diagnóstico ambiental de los cuatro sistemas productivos piscícolas en la cuenca alta del Rio Bobonaza, Parroquia Veracruz, Pastaza*. Obtenido de <http://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/handle/123456789/168/CISNEROS%20SILVA%20DANIEL%20ISRAEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corporación Financiera Internacional - IFC. Grupo del Banco Mundial. (2007). *Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para la acuicultura*. Obtenido de <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/68837f804885542db1b4f36a6515bb18/0000199659ESes%2BAquaculture%2Brev%2Bcc.pdf?MOD=AJPERES>
- Costa, M., Santos, M., Carrapico, F., & Pereira, A. (2009). *Azolla-Anabaena's behaviour in urban wastewater and artificial media – Influence of combined nitrogen*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Carra

- pico/publication/251774173_Azolla_WR_2009/links/00b4951f173195ac39000000.pdf http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982008000200002
- Cripps, S., & Bergheim, A. (2000). *Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/240398810_Solids_management_and_removal_for_intensive_land-based_aquaculture_production_systems
- Da Silva, J. A. (2006). *Fitotratamiento de efluente de acuicultura com Azolla filiculoides*. Obtenido de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1181/000605078.pdf?sequence=1>
- FAO. (s.f). *Visión general del sector acuícola nacional. Colombia*. Obtenido de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_colombia/es#tcN70019
- Fernández, J., Luna, M., & García, M. (2009). *Estudio de la filtración ascendente en gravas en el tratamiento de efluentes de la producción de tilapia roja (Oreochromis sp.)*. Obtenido de <http://ublogs.unicauca.edu.co/wp-content/uploads/sites/37/2014/11/ing-hoy-312222.pdf>
- Forni, C., Chen, J., Tancioni, L., & Caiola, M. (2001). *Evaluation of the fern Azolla for growth, nitrogen and phosphorus removal from wastewater*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/12017828_Evaluation_of_the_fern_Azolla_for_growth_nitrogen_and_phosphorus_removal_from_wastewater
- Gál, D., Szabó, P., Pekár, F., & Váradi, L. (2003). *Experiments on the nutrient removal and retention of a pond recirculation system*. Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1023/B:HYDR.000008589.46810.af>
- Ghaly, A., Kamal, M., & Mahmoud, N. (2004). *Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed*. Obtenido de <http://envismadrasuniv.org/Bioremediation/pdf/Phyto remediation%20of%20aquaculture%20wastewater.pdf>
- Gonzaga, G., Silva, H., & Monteiro, A. F. (2008). *El tratamiento de los efluentes de camarón por macrófitas flotantes*. Obtenido de
- González, J. A. (2012). *Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema*. Obtenido de <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ca/article/view/1323/1208>
- Henry-Silva, G., & Monteiro, A. (2006). *Efficiency of aquatic macrophytes to treat nile tilapia pond effluents*. Obtenido de <http://www.revistas.usp.br/sa/article/view/22185/24209>
- IDEAM. (2004). *Determinación de Oxígeno Disuelto por el método yodométrico modificación de azida*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>
- IDEAM. (2004). *Fòsfora Total en agua por digestión àcida, método del àcido ascorbico*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/F%C3%B3sforo+Total+en+Agua+M%C3%A9todo+del+Acido+Asc%C3%B3rico.pdf/bf2f449b-4b9b-4270-b77e-159258d653e2>
- IDEAM. (2007). *Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, Incubación y Electrometria*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno.pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- IDEAM. (2007). *Demanda Química de Oxígeno por refluo cerrado y volumetria*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno.pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- IDEAM. (2007). *Sòlidos Suspendidos Totales en agua secados a 103 - 105 °C*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/opensbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

- Kubitza, F. (1998). *Qualidade da Água na Produção de Peixes - Parte II*. Obtenido de <http://www.projetopacu.com.br/public/paginas/207-panorama-da-aquicultura-qualidade-de-gua-parte-2.pdf>
- Lazur, A., & Britt, D. (1997). *Pond Recirculating Production Systems*. Obtenido de http://www.aces.edu/dept/fisheries/education/ras/publications/facility_design/Pond%20Recirculating%20Production%20systems%20455fs.pdf
- Lin, Y.-F., Jing, S.-R., Der-Yuan, L., Chang, Y.-F., Chen, Y.-M., & Shih, K.-C. (2004). *Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/8109304_Performance_of_a_Constructed_Wetland_Treating_Intensive_Shrimp_Aquaculture_Wastewater_under_High_Hydraulic_Loading_Rate
- Luna, M. A. (2011). *Efluente Piscícolas: Características Contaminantes, Impactos y Perspectivas de Tratamiento*. Obtenido de <http://jci.uniautonomia.edu.co/2011/2011-2.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico#documentos-de-interés>
- Nduwimana, A., Xiang-Long, Y., & Li-ren, W. (2007). *Evaluation of a cost effective technique for treating aquaculture water discharge using Lolium perenne Lam as a biofilter*. Obtenido de http://www.jesc.ac.cn/jesc_cn/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=2007190911
- Pardo, S., Suárez, H., & Soriano, E. (2006). *Tratamiento de Efluentes: Una vía para la Acuicultura responsable*. Obtenido de <http://revistas.unicordoba.edu.co/revistamvz/MVZ-111s/111s-3.pdf>
- Pfeiffer, T., Osborn, A., & Davis, M. (2008). *Particle sieve analysis for determining solids removal efficiency of water treatment components in a recirculating aquaculture system*. Obtenido de <http://naldc.nal.usda.gov/download/20641/PDF>
- Posadas, B. (s.f). *Comparative economic analysis of using different sizes of constructed wetlands in recirculating catfish pond production*. Obtenido de <http://eurekamag.com/research/003/684/003684981.php>
- Qin, G., Liu, C., Richman, H., & Moncur, J. (2004). *Aquaculture wastewater treatment and reuse by wind-driven reverse osmosis membranetechnology: a pilot study onCoconut Island, Hawaii*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/222700255_Aquaculture_wastewater_treatment_and_reuse_by_wind-driven_reverse_osmosis_membrane_technology_A_pilot_study_on_Coconut_Island_Hawaii
- Redding, T., Todd, S., & Midlen, A. (1997). *The Treatment of Aquaculture Wastewaters—A Botanical Approach*. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479797901122>
- Sharrer, M., Tal, Y., Ferrier, D., Hankins, J., & Summerfelt, S. (2007). *Membrane biological reactor treatment of a saline backwash flow from a recirculating aquaculture system*. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860906000938>
- Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z., & Rijn, J. v. (2002). *Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system*. Obtenido de <http://cmit.nkmu.edu.tw/Reference/Literature/Culture%20System/Tilapia%20Zero-discharge%20RAS.pdf>
- Tacon, A., & Matthias, H. (s.f.). *La acuicultura en jaulas: un panorama mundial*. Obtenido de <https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=Tacon+A,+Forster+I.+Aquafeeds+y+el+Medio+ambiente:+implicaciones+pol%C3%ADticas>
- Troell, M., Halling, C., Neori, A., Charles, Y., Chopin, T., Buschmann, A., y otros. (2003). *Integrated mariculture: asking the right questions*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/223835269_Integrated_Mariculture_Asking_The_Right_Questions

- Troell, M., Neori, A., Chopin, T., & Buschmann, A. (2004). *Biological wastewater treatment in aquaculture - more than just bacteria*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/234596596_Biological_wastewater_treatment_in_aquaculture_-_more_than_just_bacteria_A_Comment
- Troell, M., Neori, A., Chopin, T., & Buschmann, A. (2005). *Biological wastewater treatment in aquaculture - more than just bacteria. A Comment*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/234596596_Biological_wastewater_treatment_in_aquaculture_-_more_than_just_bacteria_A_Comment
- Troell, M., Ronnback, P., Halling, C., Buschmann, A., & Kautsky, N. (1999). *Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/225842585_Ecological_engineering_in_aquaculture_Use_of_seaweeds_for_removing_nutrients_from_intensive_mariculture
- True, B., Johnson, W., & Chen, S. (2004). *Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture III: assessing high-rate filtration media for effluent solids and phosphorus removal*. Obtenido de https://articles.extension.org/mediawiki/files/4/48/Reducing_Phosphorus_discharge_from_flow-through_aquaculture_.pdf
- Truong, P., Tan Van, T., & Pinnars, E. (s.f). *Vetiver System Applications. Technical Reference Manual*. Obtenido de http://www.vetiver.org/TVN-Manual_Vf.pdf
- Weisner, S., Eriksson, P., Graneli, W., & Leonardson, L. (1994). *Influence of Macrophytes on Nitrate Removal in Wetlands*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/259582271_Influence_of_Macrophytes_on_Nitrate_Removal_in_Wetlands

Autores

Rico Torres Fabio René, estudiante de ingeniería ambiental; ECAPMA, Nodo Acacias.

Gómez Pardo Neify Yaneth; estudiante de ingeniería ambiental; ECAPMA, Nodo Acacias.