

**EVALUACIÓN DEL COMPONENTE BIOLÓGICO DE UN HUMEDAL
ARTIFICIAL SUPERFICIAL CON VETIVER PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUA DOMÉSTICA**

**CARLOS ALBERTO NIÑO BACAREO
FABIAN RICARDO QUINTERO HERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2018

**EVALUACIÓN DEL COMPONENTE BIOLÓGICO DE UN HUMEDAL
ARTIFICIAL SUPERFICIAL CON VETIVER PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUA DOMÉSTICA.**

**CARLOS ALBERTO NIÑO BACAREO
FABIAN RICARDO QUINTERO HERNANDEZ**

DOCENTE

ALVARO CAJIGAS CERON

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2018

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, marzo de 2019

Agradecimientos

En primer lugar, le agradezco a Dios por ser mi guía, por darme salud y fortaleza de poder seguir adelante frente a todas las adversidades del camino, por los momentos difíciles que me enseñan lo verdaderamente importante de la vida, por darme la sabiduría para formarme como persona e ingeniero, por llenar mi vida de buenas personas y gratas experiencias.

A mis padres, quienes siempre me motivaron a seguir adelante y me apoyaron durante todo mi proceso de formación siendo mi motor para siempre seguir adelante y nunca rendirme. A mi familia y amigos quienes de una u otra forma siempre aportaron su granito de arena para poder hacer este sueño posible motivándome para ser mejor día tras día, este logro es de ellos como mio.

A la asesoría y disposición del profesor Álvaro Cajigas, cuyos consejos y sugerencias contribuyeron al mejoramiento de las condiciones hidráulicas de la experimentación.

A la Universidad Pontificia Bolivariana y a cada docente que me brindaron el espacio para contribuir a mi formación personal y profesional como Ingeniero Ambiental.

¡Gracias Totales!

Fabián Ricardo Quintero Hernández

A Dios, quien me dio la fortaleza para lograr mis metas y unos padres maravillosos quienes me apoyaron a lo largo de todo este proceso.

A mi familia por ser tan condicionales en cada momento de mi formación.

Al Ingeniero Álvaro Cajigas por su entrega, dedicación, apoyo y sabio consejo en todo momento durante mi formación profesional.

A mi compañero de proyecto Fabián Quintero, por su compromiso, amistad y colaboración.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por brindarme un espacio de crecimiento personal y profesional.

¡A todos, gracias!

Carlos Niño Bacareo

Tabla de contenido

1. OBJETIVOS	14
1.1 Objetivo General	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2. Marco Teórico	15
2.1 Tipos de humedales	18
2.1.1 Componentes del Humedal Artificial	22
2.2 Metales	22
3. METODOLOGIA	24
3.1 Fase I: Análisis de la capacidad de adaptación del vetiver en el sistema, teniendo cuenta los parámetros físicos de la planta	25
3.2 Fase II: Evaluación del efecto del método para remover nitrógeno (amoniaco, total) y fosforo realizando mediciones periódicas en el afluente y en el efluente.	26
3.2.1 Evaluación de variables fisicoquímicas del humedal.	27
3.2.2 Análisis de efectividad y porcentajes de remoción	27
3.3 Fase III: Comparar los resultados entre la remoción de nitrógeno fosforo y el crecimiento de la planta estimando la importancia de estos parámetros químicos en el desarrollo del vetiver.	28
4. Resultados y análisis	29
4.1 Análisis de la capacidad de adaptación del vetiver en el sistema, teniendo cuenta los parámetros físicos de la planta.	29
4.2 Evaluación del efecto del método para remover nitrógeno (amoniaco, total) y fosforo realizando mediciones periódicas en el afluente y en el efluente.	30
4.3 Comparar los resultados entre la remoción de nitrógeno fosforo y el crecimiento de la planta estimando la importancia de estos parámetros químicos en el desarrollo del vetiver. .	35
5. Conclusiones y Recomendaciones	45
6. Referencias Bibliográficas	46

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación de los sistemas de tratamiento natural basados en Macrofitas.	20
Tabla 2. Evaluación del crecimiento de la planta vetiver en el tanque 1.....	31
Tabla 3. Evaluación del crecimiento de la planta vetiver en el tanque 2.....	31
Tabla 4. Evaluación del crecimiento de la planta vetiver en el tanque 3.....	33
Tabla 5.	36
Tabla 6.	37
Tabla 7.	37
Tabla 8.	39
Tabla 9.	40
Tabla 10. Promedio acumulado del crecimiento de la planta Vetiver en diferentes tiempos analizados en el tanque 3.	41

Lista de Figura

Figura 1. Remoción de N/P.....	17
Figura 2. Esquema de un Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal. Fuente: Sucher & Holzer (1999).....	21
Figura 3. Metodología aplicada en el proyecto. Fuente: Autores	24
Figura 4. Medición del tallo 10 cm para cada vetiver. Fuente: Autores	25
Figura 5. Tanques.....	26
<i>Figura 6. Implantación del vetiver en el sistema.....</i>	<i>26</i>
Figura 7. Medición de parámetros físicos.....	29
Figura 8. Aparición de algas	34
Figura 9. Promedio acumulado del crecimiento de la planta Vetiver en diferentes tiempos analizados en el tanque 1.	39
Figura 10. Promedio acumulado del crecimiento de la planta Vetiver en diferentes tiempos analizados en el tanque 2.	41
Figura 12. Comparación de remoción de Nitrógeno Amoniacal en los tanques 12	

Glosario

Humedal Artificial: “Confinamiento del humedal, el cual se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo, el empleo de sustratos diferentes del terreno original para el enraizamiento de las plantas y la selección de las plantas que van a colonizar el humedal” (Salas, 2018)

Tratamiento de agua residual: “Producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para la disposición o rehúso” (Aguamarket, 2017).

Fosforo: “El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, es de mucho interés limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías naturales.” (Aguamarket, 2017)

Nitrógeno: “El nitrógeno es un contaminante presente en las aguas residuales el cual debe ser eliminado con anterioridad al vertido de éstas en los cursos superficiales de aguas. En caso contrario, el nitrógeno reduce el oxígeno disuelto de las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático, entraña un riesgo para la salud pública y junto al fósforo son responsables del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos (eutrofización)” (envitech, 2019).

Flujo Subsuperficial: “Es un canal grande relleno con grava y arena donde se planta vegetación acuática. Al fluir horizontalmente las aguas residuales por el canal, el material filtra partículas y microorganismos y degrada el material orgánico”. (Salazar, 2015)

Reactor Batch: “Es un reactor donde no existe flujo de entrada ni de salida, es simplemente un reactor con un agitador que homogeneiza la mezcla. Es esencialmente un tanque en el que se ha permitido que ocurra una reacción” (Daniel Gonzales Chavez, 2017)

Macollas: Conjuntos de brotes que crecen juntos formando una amplia y densa planta.

Pasto vetiver: “El pasto vetiver es una gramínea que ha generado mucho interés a nivel mundial como una tecnología tradicional para la conservación de los suelos y agua” (Vetivelcol, 2019)

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DEL COMPONENTE BIOLÓGICO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL SUPERFICIAL CON VETIVER PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DOMESTICA.

AUTOR(ES): Fabián Ricardo Quintero Hernández
Carlos Niño Bacareo

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): PhD. Álvaro Andrés Cajigas Ceron

RESUMEN

En el presente proyecto se verificó la implementación del sistema vetiver en una vivienda de la zona rural del municipio de Floridablanca, Santander, con el objetivo de evaluarlo como alternativa de tratamiento de aguas domésticas. El prototipo evaluado consistió en tres sistemas diseñados con diferentes dimensiones (2:1,3:1,4:1), cada uno de los sistemas fue alimentado con agua residual proveniente del pozo séptico de la vivienda efectuándose un flujo discontinuo de principio a fin; también se analizó la capacidad de adaptación del vetiver en el sistema asociada a la remoción nitrógeno y fósforo. El crecimiento se realizó un análisis estadístico obteniendo como resultado un crecimiento homogéneo de las plantas, debido a esto no es concluyente que la remoción de nitrógeno y fosforo se deba al crecimiento de las plantas o se deba otros intercambios, puesto que no se contaba con un blanco. Los humedales artificiales de flujo subsuperficial tipo Batch muestran gran eficiencia en el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas.

PALABRAS CLAVE:

Humedal artificial, tratamiento de aguas residuales, planta vetiver, remoción N/P.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF THE BIOLOGICAL COMPONENT OF A SUPERFICIAL ARTIFICIAL WET WITH VETIVER FOR THE TREATMENT OF DOMESTIC WATER.

AUTHOR(S): Fabián Ricardo Quintero Hernández
Carlos Niño Bacareo

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Ph.D. Álvaro Andrés Cajigas Ceron

ABSTRACT

In this project the implementation of the vetiver system was verified in a house in the rural area of the municipality of Floridablanca, Santander, in order to evaluate alternative treatment as domestic water. The evaluated prototype consisted of three systems designed with different dimensions (2: 1.3: 1.4: 1), each of the systems was fed with wastewater from the septic tank housing a discontinuous flow being effected from beginning to end ; adaptability of vetiver in the associated nitrogen and phosphorus removal system also analyzed. Growth statistical analysis resulting in uniform growth of plants, because this is not conclusive that the removal of nitrogen and phosphorus is due to plant growth or other exchanges due performed, since it had not white. Artificial wetlands subsurface flow Batch type shown high efficiency in the secondary treatment of domestic wastewater.

KEYWORDS:

Artificial wetlands, wastewater treatment, plant Vetiver, removal N/P.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

Esta investigación tiene como propósito principal evaluar una alternativa que contribuya a remover la cantidad de nitrógeno y fosforo presente en las aguas residuales durante su tratamiento, para así poder compararlo con su crecimiento y de esta manera establecer si tienen relación entre sí. Hay ciertos eventos naturales y actividades antropogénicas que se alteran causando una variación físico-química y biología en las aguas superficiales, siendo estos considerados como cambios simples y complejos afectando la efectividad del sistema a investigar.

El sistema se componía de 3 tanques con diferentes medidas que contenían 30 plantas cada uno divididas en 3 secciones realizando mediciones periódicas de nitrógeno y fosforo ex-situ de entrada y salida, de igual manera un monitoreo al crecimiento de las plantas in-situ, teniendo un control permanente de lo que sucedía con el sistema.

Como hipótesis principal se espera una remoción que cumpla con las normas establecidas que confirmara la eficiencia del sistema en la remoción de los compuestos a evaluar y posteriormente se confirmara la posible implementación en viviendas de zonas rurales garantizando una buena calidad del agua vertida en las fuentes hídricas de dichas zonas ya que estas aguas no están conectadas al alcantarillado municipal y no son debidamente tratadas.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Evaluar el sistema vetiver como alternativa de tratamiento de aguas domésticas residuales por medio de humedales superficiales de manera que se pueda conocer su eficiencia de remoción en nitrógeno y fósforo.

1.2 Objetivos Específicos

Analizar la capacidad de adaptación del vetiver en el sistema, teniendo cuenta los parámetros físicos de la planta.

Evaluar el efecto del método para remover nitrógeno (amoniaco, total) y fósforo realizando mediciones periódicas en el afluente y en el efluente.

Comparar los resultados entre la remoción de nitrógeno fósforo y el crecimiento de la planta estimando la importancia de estos parámetros químicos en el desarrollo del vetiver

2. Marco Teórico

En los años (300 A.C. a 500 D.C.) las aguas residuales y pluviales eran transportadas por los antiguos griegos hacia unas alcantarillas que se encargaban de llevar las aguas hacia unos tanques que las almacenaban en zonas alejadas de la ciudad. Estas aguas eran utilizadas para regar los campos agrícolas que proveían los alimentos de los pobladores.

Los romanos en el año 800 A.C., hicieron una cloaca para almacenar las aguas. Esto con el fin de evacuar el agua de un pantano donde construirían la ciudad de Roma más adelante. Terminaron el sistema para el año 100 DC e hicieron algunas conexiones a viviendas de los primeros lugareños. El agua se transportaba por canales desde los baños públicos, hasta un alcantarillado subterráneo y después ahí se llevaba al río Tiber.

En una investigación publicada en el 2015 realizada en Acacias, Meta, quiso demostrar la eficiencia de un sistema para fitorremediación de aguas superficiales utilizando pasto Vetiver, con esto se quería disminuir la carga de contaminantes de las aguas provenientes del “CAÑO COLA DE PATO” ubicada en el sector rural de Acacias, debido a la gran actividad antrópica (ganadería, agricultura, piscicultura y porcicultura) que se presenta en el lugar. Para ello se realizaron adecuaciones a la zona y se realizaron análisis fisicoquímicos (turbidez, conductividad, color, cloruros, alcalinidad, dureza, calcio, fosfatos, sulfatos, hierro y Aluminio) y bacteriológicos (Coliformes totales y fecales, E-coli y Mesoarebios), periódicamente al agua, para determinar el grado de descontaminación que va teniendo gracias a la implementación del sistema. Al final del periodo de prueba de los montajes se pudo evidenciar una reducción de los niveles de contaminantes en el agua, los cuales fueron, para el

caso de la turbiedad se presentó una remoción del 74%, para la conductividad una reducción del 59%, para el color se presentó un aumento debido a que las muestras se tomaron en época de lluvia y se evidencio la presencia de algas, en cuanto a los cloruros se presentó en niveles muy por debajo de los admisibles alrededor del 15 mg/l lo que no representa problemas en la potabilización del agua, con relación a la alcalinidad se obtuvo remociones del 55%, para la dureza una reducción del 81%, en el calcio reducciones del 47%, en cuanto al PH se redujo un 18% volviendo el agua ligeramente acida, para los fosfatos hubo un aumento del 0,071 mg/l PO₄, lo cual se pudo deber al estancamiento del agua y a los cambios de temperatura, para los sulfatos remociones del 57%, se presencié un aumento del 2% para el hierro debido a la poca oxigenación, el aluminio se mantuvo en el mismo nivel al comienzo y al final del proceso, con relación al DQO y DBO hubo un incremento del 100%, lo que da como resultado una mayor demanda tanto como química como biológica de oxígeno para la descomposición de la materia orgánica, para los Coliformes totales se presentó una reducción del 99% y para Coliformes fecales, E-coli y mesoareobios no se encontraron en el agua. De acuerdo a los resultados obtenidos el Vetiver realiza cambios en el agua, los cuales resultarían notorios y positivos si el tiempo de retención hubiese sido por más días, y se le realizara una recirculación al agua, con el fin de brindar mayor oxigenación al agua.

Un estudio realizado en el centro urbano del municipio de Nuevo Progreso, departamento de San Marcos en el año 2014, el cual tenía por objetivo diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales por humedal artificial, para la descarga, en este lugar se registran tres puntos de descarga de aguas residuales hacia el río San Luis, vertidos que son producto del aprovechamiento de recursos hídricos por parte de las viviendas y comercios de la localidad para el desarrollo de sus labores cotidianas. En este trabajo se propone un diseño de una planta de tratamiento por humedales artificiales para los vertidos líquidos que se descargan en La

Floresta, este proyecto se realizó para poder evaluar los impactos ambientales derivados de la ejecución del proyecto sanitario de aguas municipales y valorar económicamente la construcción del sistema. Para dar una solución a la problemática se propuso el diseño de un sistema por humedales artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de las aguas residuales municipales descargadas al cauce del río San Luis, siendo este método que reproduce un ecosistema natural en el que participan plantas macrófitas, microorganismos, bacterias y animales. De acuerdo a un estudio realizado en el 2011, en China, el objetivo principal de este era la eliminación de las altas concentraciones de nitrógeno del efluente de una planta de tratamiento, en el que se quiso implementar un humedal artificial plantando Vetiver, inmediatamente después de la planta de tratamiento en la ciudad de Hangzhou, con el fin de que las aguas reciban un tratamiento adicional, ya que estos humedales han sido reconocidos por su eficacia en la contribución de la remoción de distintos contaminantes (Vymazal, 2007 ; Kadlec, 2008), además de ser potencialmente prometedores para su aplicación en países en desarrollo (Kivaisi, 2001).

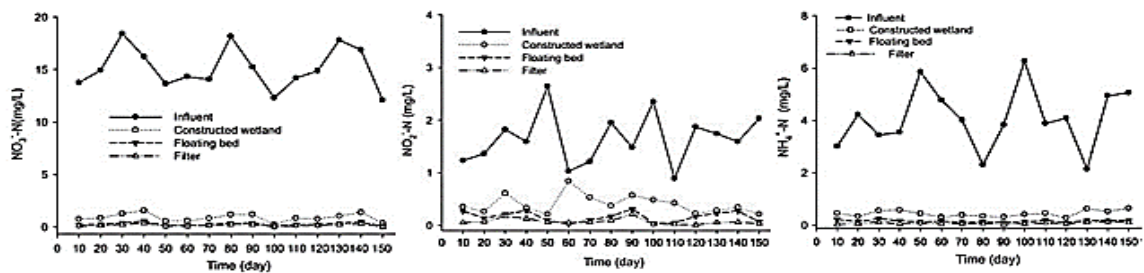


Figura 1. Remoción de N/P.

Fuente: (Vymazal, 2007; Kadlec, 2008)

De acuerdo al estudio se puede concluir que el humedal fue eficaz para el tratamiento de efluente de la planta de tratamiento el cual se compone principalmente de NO_3^- .

Los recursos de carbono son clave para la desnitrificación óptima. La turba se utilizó como fuente de C para las bacterias desnitrificantes que pueden eliminar NO_3^- , así como NH_4^+ .

La cama flotante puede eliminar adicionalmente NH_4^+ , NO_3^- y NO_2^- mediada por absorción de la planta y por las bacterias desnitrificantes / nitrificantes. Con lo que en general se puede demostrar que los humedales son una alternativa eficaz y de bajos costos para la recuperación de aguas contaminadas.

2.1 Tipos de humedales

Un humedal artificial es un simulador creado por el hombre para realizar los procesos naturales de depuración de aguas contaminadas por diferentes factores entre ellos el uso cotidiano del agua potable.

Los humedales de flujo subsuperficial se diseñan y construyen para que el agua fluya a través de la zona radicular de la vegetación y por lo tanto no presentan una superficie libre de flujo. Este sistema consiste en una excavación que contiene un lecho de material filtrante que generalmente es grava, el cual soporta el crecimiento de la vegetación emergente. En esencia, un humedal de flujo subsuperficial se clasifica como un sistema de tratamiento de película fija (Metcalf and Eddy, 1991).

De acuerdo a lo anterior los humedales son un sistema utilizado como alternativas de tratamientos del agua residual, después de que esta pasa por la sedimentación primaria convencional o lagunas anaerobias. Entre los proyectos más representativos que han demostrado que los HFS:

“Pueden efectuar un tratamiento efectivo de las aguas residuales, sin embargo, la información disponible acerca de su eficiencia es escasa, a veces contradictoria e insuficiente para optimizar las variables del proceso. La mayor desventaja de los HFS es la falta de experiencias bien documentadas, particularmente en países tropicales. Este artículo presenta la tecnología de los HFS y sus criterios para el diseño de dichos sistemas” (Watson et al., 1989).

Hablar de los sistemas naturales de tratamiento (SN) nos obliga a retomar la afirmación que Watson et al hizo en 1989 en la cual sugirió que estos sistemas eran económicos y permiten ser operados de manera fácil y eficientes que le da una ventaja sobre son sistemas de tratamiento convencionales.

“Los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en macrófitas pueden ser definidos como SN, en los cuales las macrófitas acuáticas (plantas que crecen en suelos saturados de agua) tienen una función vital en relación con la depuración del agua residual” (Brix, 1993).

En los denominados sistemas naturales los contaminantes pueden removerse con una serie de procesos físicos, químicos y biológicos relativamente complejos, incluyendo sistemas naturales de filtración, nitrificación y degradación microbiana. Las macrofitas asimilan en sus tejidos los contaminantes y ayudan a los microorganismos a que transformen de manera adecuada los contaminantes y también reduzcan sus concentraciones. En la zona denominada zona radicular hay una buena producción de oxígeno, esto también contribuye a la buena remoción de contaminantes ya que hay un ambiente aerobio para la población de microorganismos. En la siguiente Tabla se muestra dicha clasificación según Brix (1994).

Tabla 1. Clasificación de los sistemas de tratamiento natural basados en Macrofitas.

Tipo de sistema	Vegetación Dominante	Nombre científico
Macrofitas flotantes	Jacinto de agua y lenteja de agua	Duckweed y Water Hyacinth.
Macrofitas emergentes	Jungo, cañamo, Guaduilla	Juncus sp Phragmites sp, Dendrocalamus sp.
Sistema mixto	Jacinto de agua y lenteja de agua. Jungo, cañamo, Guaduilla	Duckweed y Water Hyacinth Juncus sp Phragmites sp, Dendrocalamus sp

Fuente: Brix (1994).

La piedra y la grava son normalmente utilizadas como material filtrante al igual que diferentes tipos de suelos para que la vegetación pueda crecer, simulando su ciclo natural. En dicho proceso el agua fluye a través de las piedras o la grava dependiendo de que se esté usando y las raíces de las macrofitas, seguido a esto el agua que sale después de dicho proceso se recoge en una tubería. La eficiencia en la remoción de los diferentes contaminantes que esta agua contiene se debe a la interacción entre el material que se haya utilizado como método de filtro y las bacterias y microorganismos que se encuentran adheridas a las raíces y entre la grava.

“Dependiendo del tipo de planta se puede tener un ecosistema con micorrizas donde se conforman cadenas tróficas más amplias” (Brown, 1994).

“El lecho tiene una pendiente típica menor al 2% y el material se coloca sobre un recubrimiento impermeable para prevenir infiltraciones y asegurar el control del nivel de agua. El medio tiene una profundidad típica de 0.3 a 0.7 m. Los sistemas más

grandes en uso en los Estados Unidos están en Crowley, Louisiana, con un caudal de diseño de 13000 3 m /día” (Reed et al., 1995).

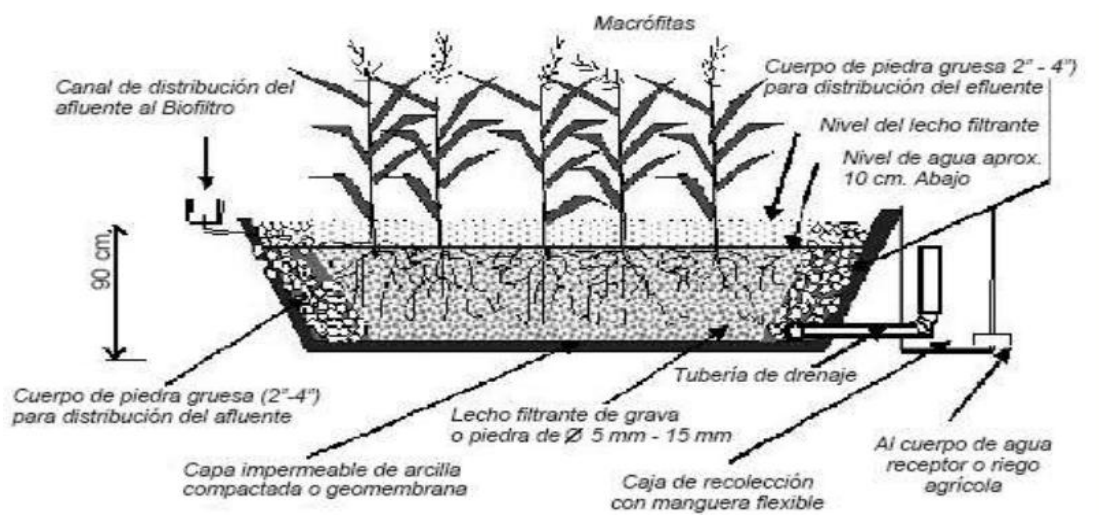


Figura 2. Esquema de un Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal.

Fuente: Sucher & Holzer (1999)

Existen más investigaciones para tratar temas referentes a os flujos superficiales que los subsuperficiales, tanto así que los datos de eficiencia fluctúan demasiados los uno de los otros.

Sin embargo, altas eficiencias de remoción de DBO5 y SST (60-90%) pueden esperarse en los HFS (Cooper, 1993; Reed et al., 1995).

La remoción de nitrógeno está por encima del 75%, sin embargo, varios sistemas de HFS muestran deficiencias de oxígeno en términos de los requerimientos para nitrificación (Watson et al., 1989).

La remoción de fósforo depende del tipo de medio o suelo y, por lo tanto, las eficiencias reportadas varían entre 30 y 50%, correspondiendo estas cifras a sistemas específicos evaluados (Brown, 1994; Cooper, 1993; Reed).

Las ventajas de los HFS es que la superficie no está expuesta, cuando este se encuentra en su condición normal reduciendo de esta forma la proliferación de insectos, facilitando el desarrollo de las macrofitas.

Componentes del Humedal Artificial

Sustrato: las macrófitas, no necesitan sustrato para su desarrollo, ellas obtienen todo lo necesario para su crecimiento del agua en la que se encuentran. Dependiendo de cómo se realice la construcción del estanque será utilizado el sustrato.

Roca, grava o arena forman el sustrato, además de restos de las mismas macrofitas que se acumulan debido a su crecimiento, lo mas importante es que haya permeabilidad, facilidad para que el agua pase a través de la piedra o la grava depende del material que se use como medio filtrante, se recomienda suelos granulares de 5 mm.

Metales

Nitrógeno

“El nitrógeno es un contaminante presente en las aguas residuales el cual debe ser eliminado con anterioridad al vertido de éstas en los cursos superficiales de aguas. En caso contrario, el nitrógeno reduce el oxígeno disuelto de las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático, entraña un riesgo para la salud pública y junto al fósforo son responsables del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos (eutrofización)” (envitech, 2019).

Fosforo

“El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, es de mucho interés limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías naturales.” (Aguamarket, 2017)

3. METODOLOGIA

Para la ejecución del proyecto la metodología se desarrolló en 3 fases, establecidas por los objetivos específicos. El proyecto se realizó en el laboratorio de análisis químico de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga y en una zona rural ubicada en el municipio de Floridablanca. La toma de muestras de agua afluente y efluente se ejecutó en una zona rural, ubicada en el municipio de Floridablanca, Santander.

Posteriormente se realizó un seguimiento al crecimiento de la planta Vetiver, en cuanto al tamaño de las hojas, raíces y la cantidad de macollas.

A continuación, se indican las tres etapas del proyecto realizadas y en la figura 2 se resumen la metodología aplicada.

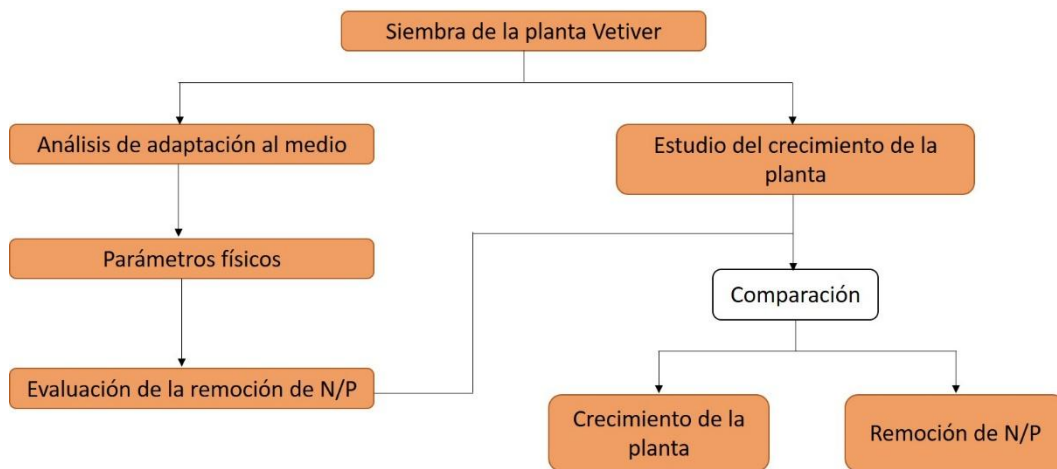


Figura 3. Metodología aplicada en el proyecto.

Fuente: Autores

Inicialmente se realizó un análisis de la capacidad de adaptación del vetiver en el sistema, teniendo en cuenta los parámetros físicos de la planta. Posteriormente, se evaluó el efecto del método para remover nitrógeno (amoniaco, total) y fósforo realizando mediciones periódicas en el afluente y en el efluente. Finalmente se compararon los resultados de la remoción de

nitrógeno fosforo y el crecimiento de la planta estimando la importancia de estos parámetros químicos en el proceso de desarrollo del vetiver

A continuación, se especifican los métodos aplicados en cada de las fases del proyecto.

3.1 Fase I: Análisis de la capacidad de adaptación del vetiver en el sistema, teniendo cuenta los parámetros físicos de la planta.

Antes de efectuar el análisis de adaptación del vetiver, las plantas fueron suministradas por la universidad pontificia bolivariana y luego se procedió a cortar todos los tallos de 10 cm, el cual posee una mayor fijación de nutrientes como se puede observar en la figura 4.



Figura 4. Medición del tallo 10 cm para cada vetiver.

Fuente: Autores

Después, se armó el humedal de flujo subsuperficial para poder sembrar las plantas a una distancia de 30 cm, en los respectivos tanques. Se utilizaron tres tanques con dimensiones diferentes, en cada tanque se sembraron 30 plantas con un tallo de 10 cm cada una. El seguimiento de planta se realizó cada 15 días, conteo de las macollas fue cada hasta cumplir los tres meses (Ver figura 5 y 6).



Figura 5. Tanques

Fuente: Autores



Figura 6. Implantación del vetiver en el sistema.

Fuente: Autores

3.2 Fase II: Evaluación del efecto del método para remover nitrógeno (amoniaco, total) y fosforo realizando mediciones periódicas en el afluente y en el efluente.

Para la evaluación de la calidad del agua en el efluente del humedal para el sistema vetiver, se valoraron variables fisicoquímicas del humedal.

3.2.1 Evaluación de variables fisicoquímicas del humedal.

La evaluación de variables fisicoquímicas del humedal con la implementación de Vetiver en aguas residuales domésticas se basará en los parámetros de interés ambiental (crecimiento, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fósforo), tomando muestras en el afluente, a un tercio, a dos tercios de este y en el efluente cada 8 días durante 3 meses determinando así su capacidad de remoción.

Para determinar los parámetros químicos se hará mediante los siguientes métodos: Nitrógeno total en agua por el método Kjeldahl Electrodo de Amoniaco, nitrógeno amoniacal por el método en Agua por Electrodo Selectivo de Amoniaco, nitratos en agua por Espectrofotometría UV, nitritos en agua por espectrofotometría y el fósforo Total en Agua por el método del Ácido Ascórbico (IDEAM 2015). Para evaluar los parámetros físicos de la planta se medirán cada 15 días sus hojas durante 3 meses obteniendo así un registro de crecimiento y se tomara su peso inicial y final para de esta manera determinar el desarrollo de la planta.

3.2.2 Análisis de efectividad y porcentajes de remoción

Para los parámetros seleccionados se calculó el porcentaje de remoción de la siguiente manera:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Donde:

VPi: Valor parámetro inicial

VPf: Valor parámetro final.

Para la evaluación del crecimiento de la planta vetiver se aplicó un diseño experimental 5^2 , donde se establecieron dos factores (tiempo y tanques) a tres niveles cada uno y la variable de la respuesta fue el crecimiento de la planta. Los niveles de tiempo considerados fueron 15, 30, 45, 60, 75, 90 días y los niveles del tanque 1, 2 y 3. Todos los ensayos se realizaron por duplicado. Al final se realizó un análisis estadístico comprobando la hipótesis interactiva y nula.

3.3 Fase III: Comparar los resultados entre la remoción de nitrógeno fosforo y el crecimiento de la planta estimando la importancia de estos parámetros químicos en el desarrollo del vetiver.

Para realizar la comparación de los resultados entre la remoción de nitrógeno fosforo, se analizó el crecimiento de la planta estimando la importancia de estos parámetros químicos en el desarrollo del vetiver, con el fin de seleccionar el método de mejor desempeño.

4. Resultados y análisis

4.1 Análisis de la capacidad de adaptación del vetiver en el sistema, teniendo cuenta los parámetros físicos de la planta.

Para poder cumplir el análisis de crecimiento teniendo en cuenta los parámetros físicos de la planta se realizó un seguimiento cada 15 días, teniendo en cuenta la medición de tamaño de hojas, número de macollas y aspecto de los mismos.

Se puede observar en la figura 7, cómo las macollas tuvieron un proceso de regeneración, debido a que los nutrientes absorbidos se eliminan con el cambio del tallo del vetiver, estos restos forman una capa aislante sin afectar al crecimiento de las nuevas, que de hecho son abundantes de 1 cm. Así mismo, sucedió con las hojas. Las raíces viejas al tener el contacto con el agua mueren manteniendo los 10 cm de tallo inicial.



Figura 7. Medición de parámetros físicos.

Fuente: Autores

Cabe resaltar, que el aspecto de las hojas al principio era de color morado y al final verde y marrones.

4.2 Evaluación del efecto del método para remover nitrógeno (amoniaco, total) y fosforo realizando mediciones periódicas en el afluente y en el efluente.

Para evaluar los parámetros físicos de la planta, se realizó una medición cada 15 días de sus hojas durante 3 meses divididos de la siguiente manera (15, 30, 45, 60, 75, 90) obteniendo así un registro de crecimiento de los tres tanques diferentes y se tomó su peso inicial y final para de esta manera determinar el desarrollo de la planta, como se resume en la tabla 2.

Sección	Planta	Tanque 1					
		15	30	45	60	75	90
1	1	3,50	38,50	2,30	6,40	8,10	5,90
	2	3,40	36,60	2,30	5,90	3,90	4,70
	3	0,70	40,30	3,50	6,40	11,80	4,70
	4	6,60	31,70	2,80	13,00	6,10	3,30
	5	5,00	32,90	2,30	7,10	8,00	7,10
	6	9,00	27,90	1,80	6,60	8,30	4,20
	7	1,00	30,20	1,70	10,70	2,70	4,50
	8	3,00	31,80	2,50	7,00	4,80	6,70
	9	3,20	30,90	2,30	7,40	6,60	3,10
	10	3,50	31,20	1,20	6,20	5,50	3,00
2	1	2,20	29,60	1,90	5,70	7,70	3,50
	2	1,50	28,70	3,20	4,20	8,70	3,40
	3	4,20	31,70	2,20	6,20	17,10	5,20
	4	3,30	30,90	2,70	5,60	6,80	6,00
	5	3,50	31,20	2,50	12,00	4,60	3,90
	6	4,00	32,10	2,50	1,80	6,00	5,20
	7	4,00	32,30	3,00	6,10	6,40	3,60
	8	3,50	31,60	2,50	6,60	7,60	3,60
	9	7,00	31,40	2,90	7,40	5,90	7,90
	10	7,50	31,30	1,90	8,40	7,10	5,70
3	1	6,00	31,20	2,90	8,70	7,00	5,50
	2	0,50	29,80	2,70	11,50	5,80	5,60
	3	3,50	30,60	2,60	8,10	8,20	5,00
	4	6,00	31,50	1,70	8,40	6,70	4,60
	5	5,00	33,60	2,40	6,90	2,80	6,20
	6	4,50	31,70	1,70	7,40	14,70	7,30
	7	4,20	31,50	2,20	9,50	7,30	6,70
	8	5,00	33,90	1,30	9,00	9,20	5,10
	9	6,30	31,30	2,90	6,30	15,30	2,40
	10	6,20	33,30	2,80	16,30	9,80	3,70

Tabla 2. Evaluación del crecimiento de la planta vetiver en el tanque 1.

Fuente: Autores

Los diferentes valores de cada sección indican aceptación del pasto en el sistema de humedal artificial.

Tabla 3.

Evaluación del crecimiento de la planta vetiver en el tanque 2.

Sección	Planta	Tanque 2					
		15	30	45	60	75	90
1	1	6,00	12,40	3,60	4,00	5,30	6,00
	2	1,50	12,80	1,70	0,40	13,70	6,50
	3	3,00	10,20	3,80	1,90	8,50	9,10
	4	6,00	10,50	2,50	1,00	14,00	5,90
	5	1,40	14,70	2,40	1,80	9,90	4,40
	6	3,00	7,40	6,00	6,80	10,00	6,80
	7	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	8	3,00	10,30	4,00	9,20	9,60	3,90
	9	3,00	6,60	8,50	2,20	5,70	6,40
	10	10,10	4,10	5,10	8,90	7,70	8,70
2	1	7,30	9,40	6,00	2,60	3,50	6,90
	2	4,10	12,30	5,00	2,40	8,00	6,20
	3	3,90	15,00	1,00	5,70	7,30	6,80
	4	3,00	12,50	2,90	1,30	4,70	9,20
	5	3,00	8,80	7,10	1,40	8,30	3,80
	6	2,00	11,90	3,40	1,50	8,50	9,90
	7	4,10	12,60	2,60	1,90	6,00	7,40
	8	6,00	8,30	6,00	5,80	9,10	5,40
	9	5,70	13,80	3,40	1,30	7,30	6,70
	10	3,20	15,50	3,10	1,70	11,80	5,70
3	1	4,00	11,00	5,40	1,90	3,00	7,30
	2	4,20	8,00	6,10	3,90	5,10	8,60
	3	5,10	9,00	6,50	5,10	4,50	6,30
	4	6,60	8,50	4,70	5,00	7,90	7,80
	5	6,10	11,30	2,90	4,30	8,90	5,90
	6	6,00	9,20	5,20	5,00	4,20	8,70
	7	3,00	7,70	2,00	9,00	9,20	9,40
	8	10,00	0,50	2,80	10,40	8,60	9,50
	9	1,50	15,50	2,70	10,90	8,60	8,20
	10	4,20	2,60	5,40	5,90	9,20	8,80

Fuente: Autores

Tabla 4.

Evaluación del crecimiento de la planta vetiver en el tanque 3.

Sección	Planta	Tanque 3					
		15	30	45	60	75	90
1	1	3,40	2,90	1,70	5,34	5,50	5,00
	2	6,10	2,30	1,90	6,34	5,70	7,70
	3	4,30	2,80	2,50	5,27	3,56	9,90
	4	4,40	3,80	1,80	5,89	5,78	1,60
	5	5,20	2,40	1,30	2,76	5,50	1,80
	6	2,30	2,80	2,00	4,12	6,40	1,90
	7	0,00	0,00	0,00	6,10	7,60	2,00
	8	1,30	2,50	1,40	2,89	2,56	2,40
	9	3,20	1,90	2,10	7,64	6,30	3,80
	10	3,70	2,70	1,60	2,76	9,60	2,70
2	1	3,30	3,80	1,80	3,65	8,70	3,60
	2	3,50	4,40	1,30	5,32	9,80	1,60
	3	2,30	2,50	1,70	3,45	5,80	4,30
	4	3,40	2,30	2,20	3,87	5,34	5,20
	5	3,30	1,90	2,40	6,43	7,40	5,10
	6	3,10	2,50	1,20	4,98	7,90	8,40
	7	4,40	3,40	2,40	2,76	8,10	6,23
	8	3,30	3,00	2,30	4,56	6,70	5,34
	9	4,50	2,20	3,90	2,76	6,40	3,40
	10	5,50	1,90	1,30	3,54	9,00	4,70
3	1	6,70	1,90	1,30	1,98	5,70	5,70
	2	3,10	2,30	1,90	4,89	5,10	4,00
	3	4,40	2,20	1,80	0,00	0,00	0,00
	4	5,30	2,00	2,70	2,87	10,80	5,80
	5	2,50	2,30	1,40	6,34	5,50	4,60
	6	3,40	2,20	1,70	5,87	12,00	3,20
	7	4,10	22,30	1,00	6,32	8,60	3,40
	8	6,30	0,60	1,20	2,87	7,50	2,90
	9	4,30	4,40	2,60	4,65	5,90	5,60
	10	5,40	1,40	1,20	2,78	9,00	6,70

Fuente: Autores

Con base a las mediciones anteriores de los diferentes tanques, se procedió a interpretar los datos por un análisis de varianza.

Podemos observar durante el seguimiento de los tres meses, un efectivo crecimiento en el tanque 1, lo cual muestra que existe una importante oferta de nutrientes (nitrógeno y fosforo) que estaría favoreciendo la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual, para llevar a cabo su desarrollo.

Mientras que en los tanques 2 y 3 no se observó un buen crecimiento de la planta, debido a la falta de oxígeno disuelto presentes en los humedales causado por el crecimiento excesivo de las algas.



Figura 8. Aparición de algas

Fuente: Autores.

En la figura 8 se ilustra la cantidad de algas, lo cual disminuyó el crecimiento del pasto en el sistema.

Además, por falta de costos se decidió suprimir los efluentes, ya que eran los mismos para cada tanque.

Por otro lado, para determinar los parámetros químicos se efectuaron mediante los siguientes métodos: Nitrógeno total en agua por el método Kjeldahl Electrodo de Amoniac, nitrógeno amoniacal por el método en Agua por Electrodo Selectivo de Amoniac, nitratos en agua por Espectrofotometría UV, nitritos en agua por espectrofotometría y el fósforo Total en Agua por el método del Ácido Ascórbico (IDEAM 2015).

4.3 Comparar los resultados entre la remoción de nitrógeno fosforo y el crecimiento de la planta estimando la importancia de estos parámetros químicos en el desarrollo del vetiver.

Teniendo en cuenta que el valor de la media cuadrática (F) en el análisis de varianza, puede acertar la hipótesis nula o interactiva, se evaluó este parámetro. El resultado obtenido de F, supera a $F_{crítica}$, lo cual significa una adecuada adaptación al humedal, tuvieron un efecto estadísticamente significativo en el crecimiento de la planta vetiver. De esta manera la hipótesis nula no es válida, en cambio la hipótesis interactiva sí lo es. Por lo tanto, la poca elongación afecta directamente al sistema vetiver como alternativa de tratamiento de agua residual doméstica.

En la tabla 5 se reporta el resumen de análisis de varianza aplicado.

Tabla 5. Análisis de varianza tanque 1.

TANQUE 1						
TIEMPO	SECCION	F	PROBAB	CRITICO. F	VARIANZA	PROMEDIO
15	S1				3.89	6.11433333
	S2	0.44958336	0.64258293	3.35413083	4.07	3.52455556
	S3			→	4.72	3.08177778
30	S1			→	33.2	15.6377778
	S2	1.85289709	0.17617176	3.35413083	31.08	1.24844444
	S3			→	31.84	1.79155556
45	S1			→	2.27	0.39344444
	S2	0.62381646	0.54344174	3.35413083	2.53	0.19344444
	S3			→	2.32	0.32844444
60	S1			→	7.67	5.34455556
	S2	2.86463591	0.0744338	3.35413083	6.4	7.07333333
	S3			→	9.21	8.31877778
75	S1			→	6.58	6.81511111
	S2	0.99146618	0.38413993	3.35413083	7.79	11.9876667
	S3			→	8.68	14.8151111
90	S1			→	4.72	2.09955556
	S2	0.3283238	0.72296468	3.35413083	4.8	2.16888889
	S3			→	5.21	2.04544444

Fuente: Autores

Entre las interacciones se manifiesta un mayor comportamiento para tanque 2, ya que son más efectivas en cuanto al crecimiento de la planta en los tiempos 75 y 90. Mientras que, en los tiempos de los tanques 1 y 2 no tuvo significancia su longitud.

El valor de la probabilidad (P) confirma la significancia del crecimiento del tiempo y de la interacción de los dos factores.

Sé efectuó el mismo procedimiento de análisis de varianza para el tanque 2 y 3.

Tabla 6. *Análisis de varianza tanque 2.*

TANQUE 2						
TIEMPO	SECCION	F	PROBAB	CRITICO. F	VARIANZA	PROMEDIO
15	S1				3.44	2.45822222
	S2	2.1586887	0.13499202	3.35413083	4.02	1.66622222
	S3	→	→	→	5.07	5.36233333
30	S1				15.11	3.20544444
	S2	0.75894203	0.47788927	3.35413083	10.8	147.56
	S3	→	→	→	14.31	56.9987778
45	S1				1.42	0.44844444
	S2	1.21481063	0.31247677	3.35413083	1.57	0.50233333
	S3				1.94	0.81822222
60	S1	→	→	→	-61.2	152.804
	S2	0.5420527	0.58775021	3.35413083	-1.4	77.3
	S3	→	→	→	-4.89	101.703222
75	S1				5.14	5.00044444
	S2	4.41076829	0.02200209	3.35413083	6.15	3.87833333
	S3	→	→	→	7.9	4.38444444
90	S1				8.52	11.3684444
	S2	3.38783825	0.04866941	3.35413083	5.96	1.63377778
	S3	→	→	→	8.05	3.44277778

Fuente: Autores

El valor de la probabilidad (P) confirma la significancia del crecimiento del tiempo y de la interacción de los dos factores.

Tabla 7. *Análisis de varianza tanque 3.*

TANQUE 3						
TIEMPO	SECCION	F	PROBAB	CRITICO. F	VARIANZA	PROMEDIO
15	S1				1.29	63.2143333
	S2	1.28146601	0.29398116	3.35413083	3.6	0.71777778
	S3	→	→	→	4.55	1.87611111
30	S1				2.41	0.961
	S2	0.58839975	0.5621774	3.35413083	2.79	0.70766667
	S3	→	→	→	4.16	41.5315556
45	S1				1.63	0.449
	S2	0.0988712	0.90618582	3.35413083	1.75	0.30944444
	S3				1.68	0.344
60	S1	→	→	→	22.976	78.36576
	S2	0.57026537	0.57203813	3.35413083	19.54	7.24044444
	S3	→	→	→	17.44	325.284889
75	S1				8.03	6.90233333
	S2	0.47913019	0.62448766	3.35413083	8.4	3.48
	S3	→	→	→	7.21	12.841
90	S1				3.57	10.0534444
	S2	1.75123456	0.19270295	3.35413083	5.91	11.3254444
	S3	→	→	→	4.19	3.79877778

Fuente: Autores

Nuevamente el valor de F elimina la hipótesis nula, y los valores de P indican alta significancia de los dos factores y de la interacción entre ellos.

A partir de los resultados anteriores sobre el crecimiento de la planta Vetiver, se emanó a comparar la efectividad, con el fin de observar la mejor incidencia que éstas poseen. En la tabla 1, 2 y 3 se puede analizar el comportamiento de la planta en diferentes tiempos (15, 30, 45, 60, 75, 90).

El crecimiento de las plantas fue homogéneo como se deduce de este análisis estadístico por tanto el reactor se comportó con flujo tipo Batch y no flujo subsuperficial como se había estructurado el proyecto, esto debido a que la cantidad de agua que entraba al sistema no era constante y no se podía controlar, dependía del uso de los habitantes de la vivienda y estos solo estaban permanentemente en la casa los fines de semana.

Tabla 8. Promedio acumulado del crecimiento de la planta Vetiver en diferentes tiempos analizados en el tanque 1.

Tanque 1	
Tiempo	Prom. Acumulado
15	4.240222222
30	6.225925926
45	6.355672257
60	6.912222222
75	11.20596296
90	11.20345562

Fuente: Autores

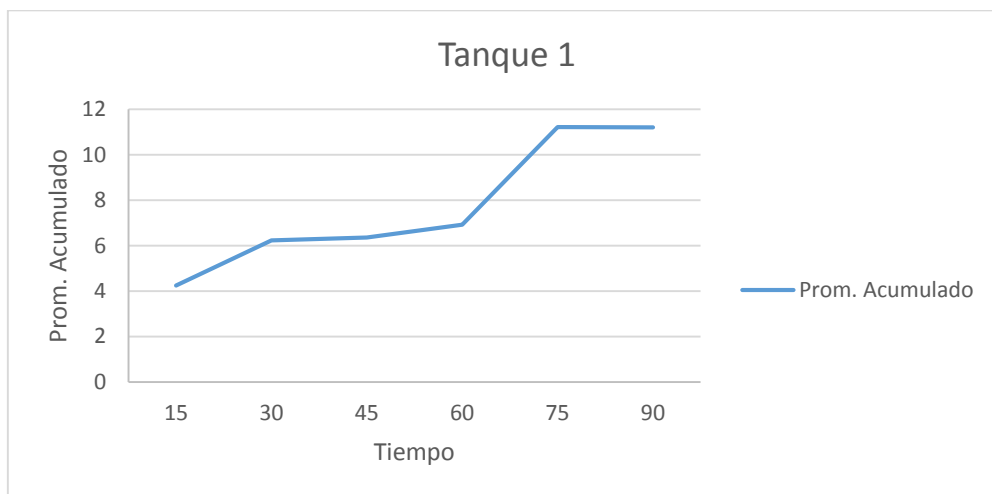


Figura 9. Promedio acumulado del crecimiento de la planta Vetiver en diferentes tiempos analizados en el tanque 1.

Fuente: Autores

Los resultados de la figura 8 demuestran el efecto del crecimiento de la planta Vetiver, lo cual se manifiesta en una efectividad ascendente de menor a mayor tiempo, indicando una correlación lineal de 0,8791. Esto quiere decir que los ajustes de los datos registrados en cada toma son buenos.

Vale la pena resaltar que en la fase experimental se observó que la planta Vetiver, desarrolló un proceso de regeneración en las macollas, debido a que los nutrientes absorbidos se eliminan con el cambio del tallo del vetiver, estos restos forman una capa aislante sin afectar al crecimiento de las nuevas, que de hecho son abundantes de 1 cm.

En la tabla 9 se ilustra el comportamiento del sistema artificial en el tanque 2 en diferentes tiempos expuestos en la tabla anterior.

Tabla 9. Promedio acumulado del crecimiento de la planta Vetiver en diferentes tiempos analizados en el tanque 2.

Tanque 2	
Tiempo	Prom. Acumulado
15	3.162259259
30	69.25474074
45	69.35567893
60	110.6024074
75	110.7768935
90	110.8893457

Fuente: Autores

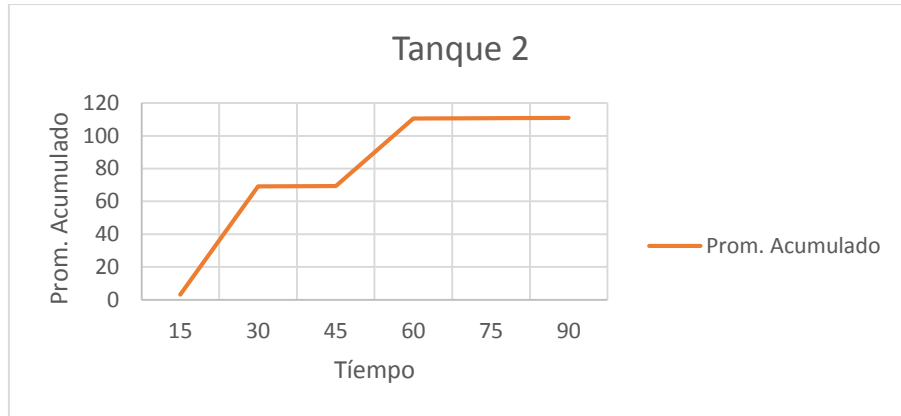


Figura 10. Promedio acumulado del crecimiento de la planta Vetiver en diferentes tiempos analizados en el tanque 2.

Fuente: Autores

De la tabla 9 se puede observar la influencia del tiempo y el promedio acumulado para el crecimiento de la planta de interés. En el tiempo 15 la incidencia fue poca, debido a factores externos del ambiente. En cuanto, al R cuadrático refleja que el ajuste de los datos es bueno.

Para el tanque 3 se realizó el mismo análisis en cuanto a la relación del tiempo y el promedio acumulado. Los ajustes de la tendencia lineal indican que el comportamiento de la planta Vetiver es bueno, aunque a partir del tiempo 60 su desarrollo fue acelerado.

Tabla 10.

Promedio acumulado del crecimiento de la planta Vetiver en diferentes tiempos analizados en el tanque 3.

Tanque 3	
Tiempo	Prom. Acumulado
15	21.93607407
30	22.01234556
45	22.45112876
60	136.9636978
75	136.9993457
90	138.987655

Fuente: Autores



Figura 11. Promedio acumulado del crecimiento de la planta Vetiver en diferentes tiempos analizados en el tanque 3.

Fuente: Autores

Los tanques analizados presentan valores superiores al estándar de calidad del agua. Los niveles promedio como se observan en las gráficas, indican que existe demanda de nutrientes, favoreciendo la remediación del cuerpo de agua residual.

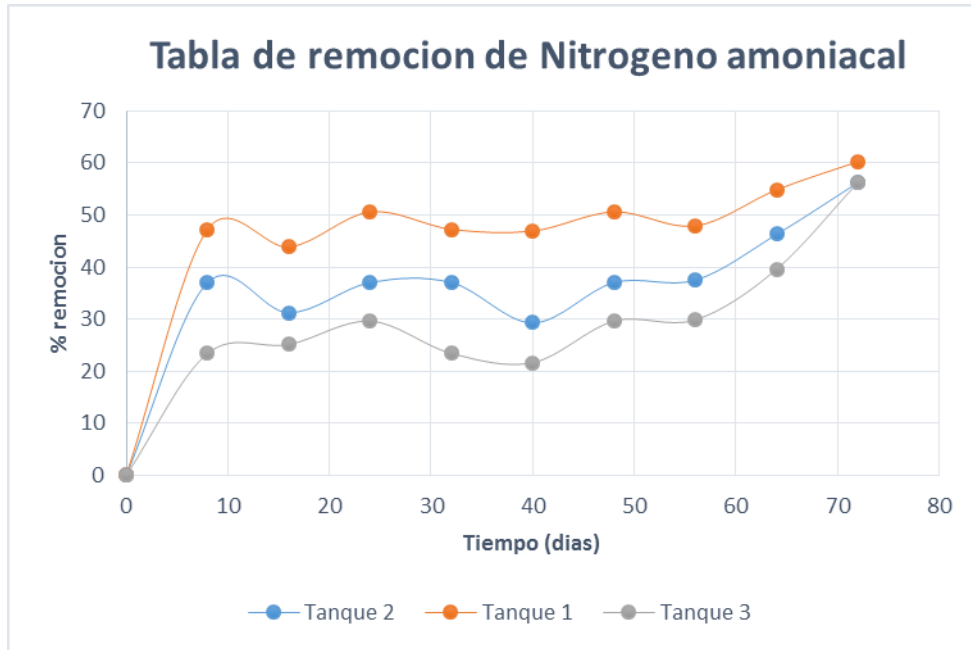


Figura 12. Comparación de remoción de Nitrógeno Amoniacaal en los tanques

Para este caso podemos observar que las primeras medidas, no se realizaron, esto debido a decisión del laboratorio de análisis de la Universidad pontificia bolivariana, también podemos deducir que la remoción de nitrógeno amoniacaal es constante mejorando la remoción en las últimas medidas de cada tanque; ya que en este punto el sistema estaba totalmente estabilizado.

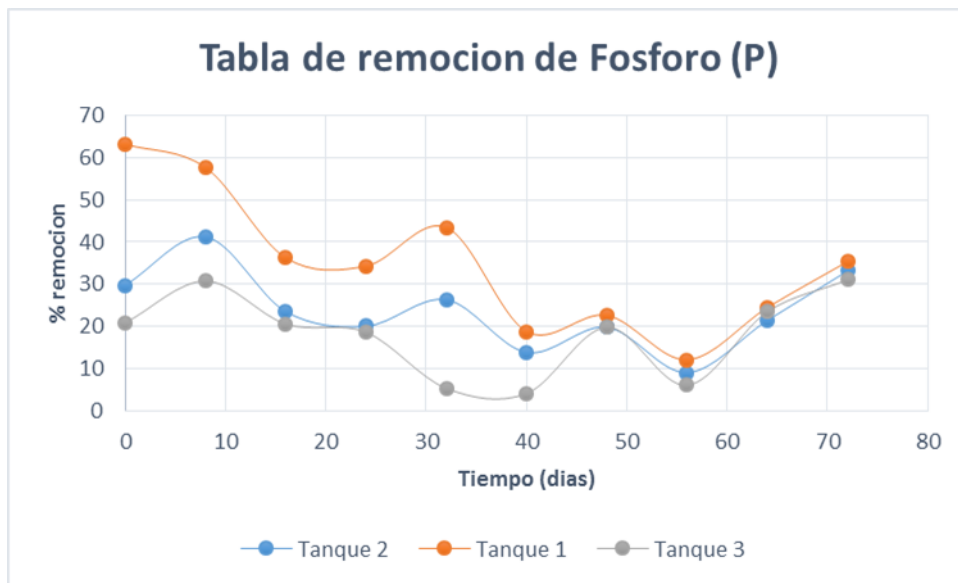


Figura 13. Remoción de fosforo

El fosforo se comportó de manera anormal en el tanque 1 bajando los niveles de remoción significativamente en los tanques dos y tres los primeros días del proyecto ocurrió una falla en el funcionamiento del sistema, ya que hubo un taponamiento en la salida de los tanques perturbando así el flujo de salida del agua residual, evitando el funcionamiento homogéneo del sistema generando variabilidad en las medidas.

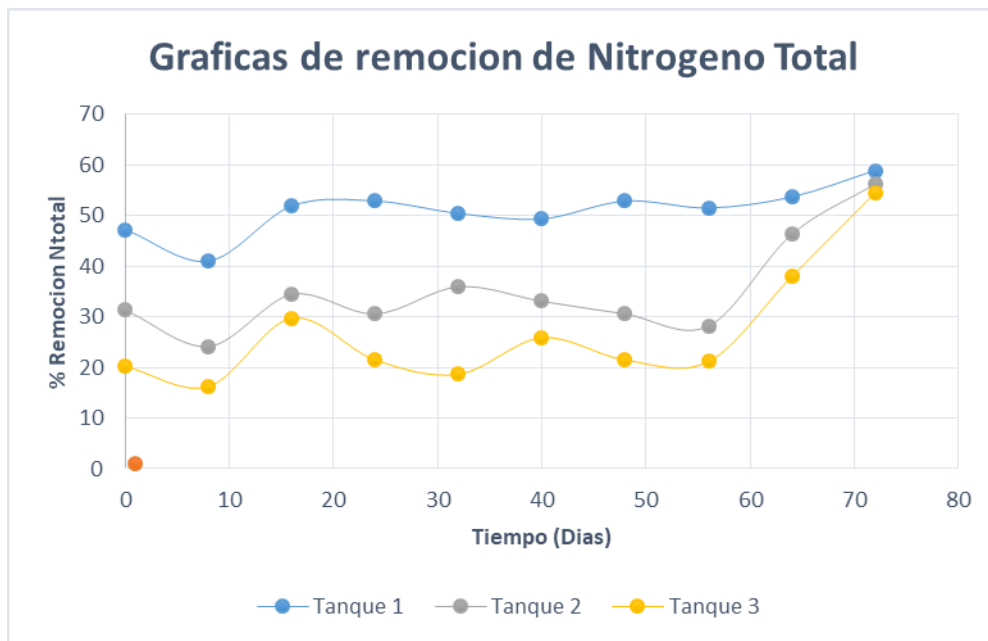


Figura 14. Remoción de Nitrógeno Total

En las últimas medidas del análisis químico del agua se observa que son iguales en todos los tanques esto debido a la estabilización del sistema, trabajando de forma correcta. A partir de esto se puede inferir que el sistema se demora en adaptarse tardando aproximadamente tres meses en llegar a su punto ideal de funcionamiento eficiente. También se observa que al final del periodo de prueba del sistema, los porcentajes de remoción son muy similares para los 3 tanques lo cual dice que las dimensiones de los tanques no alteran su efectividad.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Las dimensiones de los tanques no interfieren en la efectividad de remoción del sistema, como se observa en las últimas medidas tomadas, el porcentaje fue muy similar en los 3 tanques descartando que la distancia entre las plantas altere su eficiencia.

El número de macollas mejora la capacidad de remoción del vetiver esto se deduce del tanque 3, en el seguimiento que se hizo se observa que este tiene el número más alto que los otros dos y comparando los porcentajes de remoción dicho tanque tuvo una remoción de más del 50% para nitrógeno.

La longitud del tallo de las plantas no favorece su buen desarrollo, en el tanque 1 se observa que son las plantas más largas del sistema pero con pocas macollas, debido a esto el vetiver no alcanza a cubrir una buena área disminuyendo su capacidad de remoción.

Se recomienda dejar un buen tiempo de adaptación de las plantas y de estabilización de los humedales, como se observa en los resultados de nuestra investigación, el humedal artificial presento un comportamiento regular al cabo de 3 meses, viéndose reflejado en las últimas medidas tomadas.

6. Referencias Bibliográficas

- Badejo, Adedayo A., David O. Omole, Julius M. Ndambuki, and Williams K. Kupolati. 2017. "Municipal Wastewater Treatment Using Sequential Activated Sludge Reactor and Vegetated Submerged Bed Constructed Wetland Planted with *Vetiveria Zizanioides*." *Ecological Engineering* 99: 525–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.012>.
- Crites, R.W., and G. Tchobanoglous (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Delgadillo, Oscar, Alan Camacho, and Mauricio Andrade Serie. 2010. *Depuración de Aguas Residuales Por Medio de Humedales Artificiales*. http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf%5Cnhttp://www.aguasresiduales.info/revista/libros/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales.
- ESTRADA Islena. Monografía de sobre Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) para remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Colombia 2010.
- GALINDO Rudy. humedal artificial de flujo horizontal sub superficial para tratamiento de aguas mieles. Ciudad de Guatemala. 2014.
- IDEAM. 2015. "Metodologías de análisis." *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* 2: 2–9. <http://www.ideam.gov.co/>.
- OSNAYA Maricarmen. Propuesta de Diseño de un Humedal Artificial para el Tratamiento de Aguas Residuales en la Universidad de la Sierra Juárez. Universidad del Sierra Juárez. México 2012.

REED, S.C., Crites, R.W., Middlebrooks, E.J. Natural Systems for Waste Management and Treatment. Second Edition. New York: McGraw-Hill, 1995.

SANZ Mena Javier. Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. ALQUIMIA SOLUCIONES AMBIENTALES

Henze, M.; Van Loosdrecht, M.; Ekama, G. A. y Brdjanovic, D. (2017). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales*. Inglaterra: Publishing.

Salas, J. J. (02 de 07 de 2018). <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>

guamarket. (2017).

<https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=23948&nombreproducto=planta+tratamiento+aguas+residuales>. Obtenido de <https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=23948&nombreproducto=planta+tratamiento+aguas+residuales>: <https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=23948&nombreproducto=planta+tratamiento+aguas+residuales>

Daniel Gonzales Chavez, Q. G. (2017). Ingeniería de las reacciones químicas: Reactores químicos. Universidad nacional de San Agustín.

envitech, C. (2019). <https://blog.condorchem.com/tag/nitrogeno/>. Obtenido de <https://blog.condorchem.com/tag/nitrogeno/>: <https://blog.condorchem.com/tag/nitrogeno/>

Salazar, J. L. (2015). Tratamiento de aguas residuales aplicación de humedales artificiales. *Tesis tratamiento de aguas residuales aplicación de humedales artificiales*. Mexico DF, Mexico, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.

Vetivelcol. (2019). <http://www.vetivercolsas.com/pasto-vetiver>. Obtenido de
<http://www.vetivercolsas.com/pasto-vetiver>: <http://www.vetivercolsas.com/pasto-vetiver>