

**Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
“EZEQUIEL ZAMORA”**



**Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales
Coordinación de Área de Postgrado
Maestría en Ingeniería Ambiental**

La Universidad que siembra

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER PARA LA
FITORREMEDIACION EN REPRESA SECTOR EL GUAMAL, MUNICIPIO
LIMA BLANCO DEL ESTADO COJEDES**

Requisito parcial para optar al grado de Magister Scientiarum en Ingeniería
Ambiental

Ing. Carmen Pedroza

CI: 16774436

Tutora: MSc. Inmaculada Pérez

San Carlos, Mayo 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES
“EZEQUIEL ZAMORA”
VICERECTORADO DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS INDUSTRIALES
COORDINACIÓN DE POSTGRADO

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Ciudadanos:

Miembros de la Comisión Técnica de la Coordinación de Postgrado.

UNELLEZ –San Carlos

Su despacho.-

Ante todo un cordial saludo, cumpliendo con el procedimiento administrativo exigido; hago de su conocimiento la **Aceptación Tutorial** del trabajo de grado del participante: Carmen A Pedroza R portador de la cédula de identidad V 16.774.436 cursante de la Maestría en Ingeniería Ambiental, titulado **EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER PARA LA FITORREMEDIACION EN REPRESA SECTOR EL GUAMAL, MUNICIPIO LIMA BLANCO DEL ESTADO COJEDES.**

Sin más a que referirme y seguro de la objetiva diligencia, me suscribo.

MSC. Inmaculada Perez

C.I.: V-7.563.710

TUTORA



UNIVERSIDAD NACIONAL
EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"



Coordinación Área de Postgrado

ACTA DE PRESENTACIÓN / DEFENSA TRABAJO ESPECIAL DE GRADO, TRABAJO DE GRADO, TESIS DOCTORAL

Nosotros, miembros del jurado de:

Trabajo Especial de Grado	<input checked="" type="checkbox"/> Trabajo de Grado	Tesis Doctoral
---------------------------	--	----------------

Título(s):

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER PARA LA FITORREMEDIACION EN REPRESA SECTOR EL GUAMAL, MUNICIPIO LIMA BLANCO, ESTADO

Elaborado por el (la) participante:


Nombres, Apellidos y Cédula de Identidad

Carmen Pedrosa, C.I. 16.774.436

Como requisito parcial para optar al grado académico de: *Magister Scientiarum*, el cual es ofrecido en el programa de: *Máestría en Ingeniería Ambiental*, de la Coordinación de Postgrado del Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales de la UNELLEZ - San Carlos, hacemos constar que hoy, 22/05/18 a las 11:00 am, se realizó la presentación / defensa del mismo, acordando:

- APROBAR LA PRESENTACIÓN / DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS.
- APROBAR LA PRESENTACIÓN / DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS, OTORGANDO MENCIÓN PUBLICACIÓN.
- APROBAR LA PRESENTACIÓN / DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS, OTORGANDO MENCIÓN HONORÍFICA.
- APROBAR LA PRESENTACIÓN / DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS, OTORGANDO MENCIÓN PUBLICACIÓN Y HONORÍFICA.

Dando fe de ello levantamos la presente acta, la cual finalizó a las: 12 m


1.- Jurado Coordinador (a)
MSc. Inmaculada Pérez
C.I. 7.563.710
(Tutor-Coordinador)
UNELLEZ


2.- Jurado Principal
Dra. Nadir Carballo
(UNELLEZ)
C.I. 11.961.711




3.- Jurado Principal
MSc. Herminia Aguilar
(EXPERTO)
C.I. 4.096.903

4.- Jurado Suplente 1
MSc. Pedro Flores
C.I. 12.367.401
(UNELLEZ)

5.- Jurado Suplente 2
MSc. Yadira Flores,
C.I. 7.564.308,
(UNELLEZ)

DEDICATORIA

A Dios primeramente que me conduce en el timón de la vida y que día a día me ilumina ante mis debilidades y mis fortalezas.

A San miguel Arcángel y mi Divina Pastora por protegerme ante todas las adversidades.

A mi Madre Hilda por su crianza, sus enseñanzas y su amor los 365 días del año, y a mi papa Enrique por su apoyo siempre Dios me los bendiga y me acompañen en todos mis éxitos.

A mi hermana Andreina por apoyarme incondicionalmente en todo momento, a mi sobrina Sofía que es mi motor y enseñanza en este caminar de la vida.

A mis primas Noraima y Yamileth, primos, primitos y primitas, Tía Laura en fin toda mi familia que son el pilar fundamental que me dan fuerzas en este caminar.

A mi cuñado gracias por la colaboración y apoyo.

Con amor para ustedes Carmen Pedroza

AGRADECIMIENTOS

Agradecida de Dios por conducirme por el camino del éxito por darme las fuerzas necesarias de levantarme antes las caídas.

A la coordinación del Post grado Unellez por abrirme las puertas para continuar con mis estudios y escalar en esta nueva faceta profesional.

A mi coordinadora de maestría en Ingeniería Ambiental a la profesora Yarith por su apoyo y orientación.

A la profesora Inmaculada Pérez gracias por permitirme ser mi tutora, por sus atenciones tan cordiales y consejos en todo momento.

A personal del laboratorio Paula Correa (INSAI) por su colaboración prestada.

A mi trabajo Fundación Ciara por permitirme trabajar a pesar de todas las situaciones diarias, a mi compañero de trabajo Martin por apoyarme durante el montaje del proyecto en su comunidad y muy en especial a Carlos González por su amistad tan especial, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos de siempre que aunque están cada quien en sus espacios siempre están presentes en mi corazón Elvis, María José ,Carmen Mercedes, Karen , Johana , Hilza , Jessil y a quienes no alcance nombrar gracias por la amistad que a pesar de la distancia siempre florece .

A mis amigos Fátima, mi viejita natividad, Jheson, Lisbeth por su apoyo y consejos en las buenas y malas mis convis Beatriz, Kenia por hacer de esas amistades que valen oro y perduran con el tiempo.

A mis amigos productores Goyita, Isabelino, Jhonny, Pedro, los Bacalaos y los Romeros, y muy especial a José Calzada agradecida de ustedes en muchos momentos de mi vida por esa eterna amistad gracias.

Con mucho cariño Dios les Bendiga...

Carmen Pedroza

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2.- Justificación de la investigación.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1.- Objetivo general de la investigación.....	4
1.3.2.- Objetivos específicos de la investigación.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.1.- A nivel nacional.....	6
2.1.2. A nivel internacional.....	6
2.2. Fundamentos teóricos.....	8
2.2.1. El agua	9
2.2.2. Contaminación del agua.....	9
2.2.3. Agentes contaminantes	10
2.2.3.1. Oxígeno disuelto	10

2.2.3.2.Potencial de hidrogeno	10
2.2.3.3.- Solidos totales	11
2.2.3.4.Conductividad electrica.....	11
2.2.3.5. Salinidad.....	11
2.2.3.6. Turbidez.....	11
2.2.3.7. Coliformes totales.	11
2.2.3.8.Bacterias coliformes como indicadores de contaminacion fecal.....	12
2.2.4. Fitorremediacion	12
2.2.4.1. Procesos presentes en fitorremediacion	12
2.2.4.2. Rizofiltracion	14
2.2.4.3. La planta de vetiver	15
2.2.4.4. Eficiencia del vetiver.....	16
2.2.4.5.Fundamentos de la tecnologia del vetiver como tratamiento de agua.....	17
2.2.4.6. Sistema hidroponico	18
2.2.5. Bases legales	18
2.2.6 Operacionalizacion de variables	18
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	20
3.1.Tipo de investigacion	21
3.2.Modalidad de la investigacion.....	21
3.3. Unidad de estudio	21
3.5. Diseño experiemetal	23
3.6. Fases de la investigacion	24

CAPITULO IV	26
DESCRIPCION Y DISCUSION DE RESULTADOS	
4.1. Diagnosticar el agua de la represa el Guamal , mediante analisis fisicoquimicos , y microbiologicos	27
4.2. Realizar montaje de u sistema de tratamiento con diferentes cantidades de pasto vetiver en muestra obtenida de la represa	28
4.3. Comprobar la eficiencia del pasto vetiver para la fitorremediacion mediante analisis de indicadores fisico quimicos y microbiologicos.....	28
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS.....	32
ANEXOS.....	35

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

	Páginas
1. Delineamiento experimental.....	23
2. Descripción de las unidades experimentales.....	24
3. Resultados iniciales obtenidos en el laboratorio del Insai.....	27
4. Muestra con 30 esquejes.....	29
5. Muestra con 12 esquejes.....	30
6. Muestra con 4 esquejes.....	30
7. Muestra con 2 esquejes.....	31

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

FIGURAS

	Páginas
1. Rutas de fitorremediacion.....	13
2. Esquema de rizofiltracion.....	15
3. Planta de vetiver	17
4. Mapa de Cojedes.....	22
5. Represa con precipitaciones y sin precipitaciones.....	23



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES
“EZEQUIEL ZAMORA”
VICERECTORADO DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS INDUSTRIALES
COORDINACIÓN DE POSTGRADO
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER PARA LA
FITORREMIACION EN REPRESA SECTOR EL GUAMAL, MUNICIPIO
LIMA BLANCO DEL ESTADO COJEDES**

AUTORA: Carmen Pedroza
Tutora: Inmaculada Pérez
Año: 2018

RESUMEN

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como fitorremediación en la represa El Guamal, para lo cual se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos utilizando 30, 12, 4 y 2 esquejes del pasto vetiver bajo condiciones hidropónicas y un testigo, en un volumen de 2 litros de agua de la represa, cada uno con tres repeticiones. Se monitoreó cada ocho días para realizar la observación del comportamiento del vetiver. Como resultados, se verificó que en el diagnóstico inicial de la muestra tiene parámetros elevados de conductividad 643 us/cm, dureza 300 ppm, pH 7,54. Los esquejes del pasto vetiver utilizados en el experimento controlaron en todas las unidades experimentales desde la primera semana reflejando su adaptabilidad y desarrollo al pasar de los días; tanto el tratamiento M 0,30 (30esquejes + 2 L), y M 0,12 (12 esquejes + 2 L), mostraron diferencias significativas a los 20 días con respecto a la muestra inicial.

Palabras claves: Sistema hidropónico, fitorremediación, rizofiltración, esquejes



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES
“EZEQUIEL ZAMORA”
VICERECTORADO DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS INDUSTRIALES
COORDINACIÓN DE POSTGRADO
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE VETIVER PASTE FOR THE
FITREREMEDIATION IN REPRESA SECTOR EL GUAMAL, MUNICIPALITY
LIMA BLANCO DEL ESTADO COJEDES

AUTORA: Carmen Pedroza

Tutora: Inmaculada Perez

Año: 2018

SUMMARY

The objective of this research was to evaluate the efficiency of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) as phytoremediation in the guamal dam, for which a completely randomized design was used with four treatments using 30, 12, 4 and 2 vetiver grass cuttings under hydroponic conditions and a control, in a volume of 2 liters of water from the dam, each with three repetitions. It was monitored every eight days to observe the behavior of vetiver. As results, it was verified that in the initial diagnosis of the sample has high parameters of conductivity 643 us / cm, hardness 300 ppm, pH 7, 54. The cuttings of the vetiver grass used in the experiment controlled in all the experimental units from the first week reflecting its adaptability and development as the days go by; both the treatment M 0.30 (30 slices + 2 L), and M 0.12 (12 cuttings + 2 L), showed significant differences at 20 days with respect to the initial sample.

Keywords: Hydroponic system, phytoremediation, rhizofiltration, cuttings

INTRODUCCION

Uno de los rasgos característicos de la sociedad moderna es la creciente contaminación de las fuentes hídricas, procedentes de las actividades agrícolas, industriales y domésticas. Estos contaminantes representan una amenaza para los seres vivos, por lo que se ha desarrollado una serie de métodos para enmendar el impacto causado. El uso de métodos convencionales de tratamiento suelen ser costosos y pueden afectar de manera irreversible las propiedades del agua y con ello los seres vivos que viven y dependen de ella.

El aumento de los costos y la limitada eficiencia de los tratamientos fisicoquímicos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías; por lo que la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes en espacio de represa el Guamal del Municipio Lima Blanco, además utiliza plantas entre ellas el Vetiver para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes.

Por tal motivo, este trabajo demuestra la eficiencia que puede tener un sistema en la fitorremediación, mediante el uso del vetiver en aguas de la represa disminuyendo sus cargas contaminantes que permiten tener fines agrícolas, pecuarios, de riego en el sector el Guamal del municipio Lima Blanco, que desde hace 20 años beneficiaba a la comunidad, que debido a la sedimentación se implementaron pozos eliminando el uso de esta represa (Comunidad del Guamal ,2017).

CAPITULO I

EI PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El agua es un elemento indispensable para la supervivencia de todos los organismos vivos, mediante factores como su disponibilidad y su composición química, física y biológica se afecta la habilidad de los ambientes acuáticos para sostener el funcionamiento de los ecosistemas Cano (2010). Sin embargo, este vital recurso se ve cada vez más amenazado debido a la contaminación ambiental y deterioro de su calidad.

Las razones de dicha contaminación son numerosas, tales como desarrollo industrial, agricultura intensiva, crecimiento exponencial de la población humana, la producción y el uso de decenas de miles de sustancias químicas sintéticas, se encuentran entre las principales causas de degrado Hespanhol y Helmer (2001). Debido a la continua incorporación de materiales ajenos al recurso hídrico, los ríos se han ido deteriorando poco a poco, aunque tengan la gran capacidad de regenerarse por sí mismos, neutralizando los efectos de las grandes cantidades de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas, entre otras, que reciben.

No obstante, frecuentemente las descargas de agua contaminada superan la capacidad de auto regeneración influyendo directamente en la salud del ecosistema del río, lo cual conlleva a la pérdida del oxígeno disuelto en el agua, la desaparición de insectos y peces, con la consecuente destrucción del ecosistema fluvial por alteración de la cadena trófica (Chiriboga , 2010).

Por el problema observado en represa del Guamal, se creó la necesidad de realizar la remoción de contaminantes aplicando técnicas económicas y de fácil manejo tales como tecnologías de fitorremediación. Los antecedentes expuestos permitieron formular las siguientes interrogantes: ¿Qué indicadores de contaminación tiene la

represa El Guamal? Según el montaje hidropónico con diferentes esquejes de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ¿Cual muestra arrojará resultados favorables? ¿Cuál es la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio represa del Guamal?

Por lo antes indicado, se consideró en esta investigación la utilización del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), como una tecnología de fitorremediación para las aguas contaminadas en la represa del sector Guamal y así mitigar la creciente contaminación que se produce en este acuífero.

1.2. Justificación de la Investigación

Este sistema hidropónico con la utilización de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la represa del Guamal ubicado en municipio Lima Blanco se basa en que es un método de bajo costo y muy eficiente para tratar aguas residuales domésticas e industriales. Los brotes aéreos del vetiver pueden ser cosechados fácilmente para su uso como forraje, mulch, substrato para hongos, etc., mientras las raíces pueden ser retiradas para la extracción de aceites esenciales, o usarlas como plaguicida crudo para controlar termitas. Uno de sus principales usos son la bioingeniería a través de la retención y la fijación del suelo o la reducción del impacto de inundaciones, ello es posible debido a su sistema de raíces largas, verticales, fuertes y densas, el follaje compacto y su crecimiento no-invasivo. Además, puede aplicarse en la restauración de suelos contaminados o deteriorados como pozos mineros o sus escombreras.

De acuerdo a los lineamientos establecidos por la Coordinación de Postgrado del Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales con respecto al área y línea de investigación la presente propuesta está enmarcada en el área Ciencias del Agro y Ambientales, siendo las líneas de investigación que se abordan “Gestión sustentable de los recursos naturales”, “Riesgos naturales”, “Diversidad biológica”, “Estructura y Funcionalidad Física, Química y Biológica de los Recursos Agua y Suelo”.

Además cabe resaltar que de acuerdo al Plan General de Investigación 2008 – 2012 de la Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ) esta propuesta de investigación se incluye en el área de ciencias del agro y ambientales, la cual involucra estudios referidos a la caracterización, evaluación cualitativa y cuantitativa de los recursos naturales, a los fines de su aprovechamiento y manejo sostenido. Específicamente se relaciona con la línea de investigación correspondiente a gestión sustentable de los recursos naturales, ya que este estudio persigue evaluar y comprobar la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la fitorremediación mediante diferentes análisis de indicadores en la represa sector El Guamal, ubicado en el municipio Lima Blanco del estado Cojedes

1.3. Objetivo de la Investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia del pasto vetiver para la Fitorremediación, en represa sector el Guamal, municipio Lima Blanco del estado Cojedes.

1.3.2. Objetivos específicos

Diagnosticar la calidad del agua en la represa el Guamal, mediante análisis físicos, químicos y microbiológicos

Analizar montaje de un sistema de tratamiento con diferentes cantidades de pasto vetiver con muestras obtenidas de la represa

Comprobar la eficiencia del pasto vetiver para la fitorremediación mediante resultados de análisis físicos, químicos y microbiológicos

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel nacional

En Venezuela, Ruiz (2000), demostró un sistema de tratamiento de agua para la remoción de flúor con vetiver en comunidad de Guarataro situada en el estado Yaracuy, ejerció un efecto positivo en la reducción del flúor en el agua de consumo. Sin embargo en los posteriores análisis que se realizaron los niveles de fluoruro se mantuvieron iguales tanto en el sistema con vetiver como en el sistema sin vetiver (testigo). Los análisis químicos realizados al tejido de la planta, tanto al follaje como a las raíces, mostraron una absorción considerable de fluoruro.

2.1.2. A nivel internacional

Lishenga (2015), describieron el rendimiento comparativo de los sistemas de vetiver en el tratamiento de aguas residuales domésticas estableciendo tres diferentes técnicas: en un medio de suelo (sistema basado suelo), con raíces suspendidas en agua (sistema hidropónico) y como un híbrido de estos dos. Donde se les administró con tanque interno post-séptico, niveles de aguas residuales cuya de DBO, SST, NT y PT se midieron antes de la aplicación, y cinco días después, se establecieron 60 plantas de vetiver utilizando la técnica hidropónica; todos estos fueron tres veces replicados. Las unidades se suministraron cuarenta litros de aguas residuales de conocida concentración de 15 contaminantes. Los resultados indicaron que, en general, el suelo- sistema de vetiver basada logró la mayor reducción en los niveles de contaminantes, seguido por el de los sistemas hidropónicos híbrido, el mayor hallazgos fueron que tanto el medio suelo y las plantas de vetiver juegan un importante papel en la remediación de aguas residuales.

En México, Torres (2010), Uso el vetiver como fitorremediación de cromo en lodos residuales de una tenería. Los resultados obtenidos mostraron una reducción de niveles de cromo en el tratamiento T2, con respecto a valores iniciales de lodo en 30% a 15 días y en 9% a 45 días; no obstante, los resultados señalan que la cantidad

de cromo absorbido por la planta fue 3.49 mg en aquellos tratamientos donde se sembró vetiver, observándose en este tratamiento una concentración de 596.92 mg kg de cromo en el tejido foliar, este valor es significativamente superior al encontrado en los tratamientos donde se sembró vetiver + lodo + abono, donde el porcentaje de cromo absorbido correspondió a 1.11% el cual representa una concentración de 190.3 mg kg⁻¹ de cromo en el tejido foliar.

En Colombia, Higuera (2000), Evaluó un biofiltro utilizando vetiver y cascarilla de arroz a escala laboratorio para el tratamiento del efluente de la PTAR del Inpec de Yopal, Casanare, cuya finalidad era lograr un efluente de calidad óptima para reúso del agua en riego. Se contemplaron tres fases generales del proyecto, la primera consistió en la caracterización y análisis de los parámetros tanto microbiológicos como fisicoquímicos del efluente a tratar. La segunda fase correspondió al diseño y construcción del sistema a escala laboratorio del humedal artificial, se construyó en vidrio, se usó como sustrato orgánico cascarilla de arroz, intercalada con grava, se sembró pasto vetiver (*C. Zizanioides*) y se inundó el sistema para que funcionará con flujo subsuperficial, el TRH fue de 3.4 días. La desinfección con cloro se diseñó a partir de una prueba de demanda de cloro y se dosificó a través de un gotero al agua de salida del prototipo en vidrio.

La tercera fase consistió en la operación del sistema a flujo continuo, el seguimiento se realizó a través de 4 muestreos con frecuencia semanal, en dos de estos muestreos se incluyó medición de DBO₅, Coliformes totales y fecales y conductividad. Los resultados de los muestreos semanales arrojaron siempre un aumento en la dureza del agua, siendo esta al inicio 103mg/L en promedio y a la salida 213mg/L. El oxígeno disuelto siempre decayó, siendo a la entrada 1.3mg/L en promedio y a la salida 0mg/L. Los parámetros medidos con frecuencia quincenal mostraron comportamientos variables, para el primer muestreo después de quince días de operación del biofiltro solamente, se obtuvo una disminución en conductividad del 27.5%, una reducción de DBO₅ del 26.7%, una reducción de coliformes totales del 99.3% y de E. Coli de 99.4%. El segundo

muestreo al mes, con el sistema de cloración funcionando arrojó una disminución total de DBO5, al igual que de coliformes totales y fecales, sin embargo la conductividad tuvo un aumento de 312 a 4800 μ siemens/cm. Los demás resultados mostraron que la cascarilla de arroz como sustrato funciona bien, las plantas crecieron permanentemente, ayudando a disminuir carga orgánica cuando estaba en grandes cantidades. Como conclusión de este trabajo se tiene que la cascarilla puede ser un sustituto total o parcial de otros sustratos de biofiltros o humedales de flujo subsuperficial como la grava o la arena, mucho más costosos y no tan disponibles como la cascarilla de arroz especialmente en la región de la Orinoquía.

Sin embargo su uso debe complementarse con un proceso de reoxigenación del agua, ya que su condición anaerobia es un aspecto negativo para los cuerpos de agua receptores de vertimientos.

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

2.2. Fundamentos teóricos.

A continuación se presentan una serie de conceptos relacionados con los principales objetivos que se plantearon en esta investigación y que ayudan a la comprensión de la temática abordada:

2.2.1.- El agua: es la base del desarrollo sostenible, varios factores se sostienen en los recursos hídricos como la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la

sostenibilidad ambiental. Este recurso natural ayuda a mejorar el bienestar social, desde la alimentación y la seguridad energética hasta la salud humana y ambiental, lo cual es primordial para la subsistencia de todos los seres vivos. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO (2003).

2.2.2.- Contaminación del agua: Existen algunas fuentes de contaminación entre las principales corresponden a las aguas residuales donde según la norma vigente de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, las aguas residuales se consideran aquellas provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, y de cualquier otro uso, así sea mínimo, que hayan sufrido degradación en su calidad original.

Así mismo La Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA (2014) considera que son aguas que necesitan un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural o descargadas a un sistema de alcantarillado. Las aguas residuales domésticas son aquellas provenientes de las actividades domésticas del hombre, que contienen desechos fisiológicos, de origen residencial y comercial, proveniente del uso de inodoros, duchas, lavabos, lavado de ropa, etc. OEFA (2014) y Haya (2009).

En cuanto la disponibilidad del agua utilizable depende de la calidad, una mala calidad del agua incide negativamente en los medios de vida, en la salud de las personas, así como en los costos del tratamiento y productividad de los ecosistemas dulceacuícolas, incluyendo las poblaciones de peces. Por lo que, aumenta el costo relacionado con las medidas correctivas y el tratamiento del agua y no hay muchos recursos disponibles, por lo que se pretenden ejecutar nuevas ideas y tecnologías, incluyendo aquellas basadas en sistemas naturales, junto con la colaboración de las entidades gubernamentales, sector privado y las comunidades para revertir el ritmo actual de deterioro y así recuperar los cuerpos de agua degradados. Programa de las naciones unidas para el medio ambiente PNUMA (2012).

En consecuencia de la incorrecta gestión de los recursos hídricos, se ven afectados los ecosistemas acuáticos que brindan servicios naturales los cuales apoyan a los medios de subsistencia, especialmente en épocas de encarecimiento de los alimentos, por lo que se están perdiendo aceleradamente, por efecto del crecimiento demográfico, cambios en los esquemas de consumo, aumento en la descarga de aguas residuales, expansión urbana, cambio climático, la extensión de la infraestructura hidráulica, la agricultura intensiva y competencia creciente por los recursos naturales programa de las naciones unidas para el medio ambiente PNUMA (2012).

2.2.3. Agentes Contaminantes

2.2.3.1. Oxígeno disuelto: El oxígeno disponible que se encuentra en un cuerpo de agua, necesario para el desarrollo de la vida acuática y la prevención de olores. El oxígeno disuelto en el agua, es un buen indicador de cuan contaminada está, debido a que si el oxígeno disuelto se encuentra en niveles bajos por causa de las bacterias durante la degradación de la materia orgánica de contaminantes, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir Rocha (2010).

El oxígeno disuelto es el factor que determina que los cambios biológicos sean producidos por organismos aeróbicos o anaeróbicos consecuentemente, para mantener las condiciones aeróbicas es vital hacer mediciones de oxígeno disuelto en las aguas naturales que reciben material contaminante de otra manera, proliferaran los organismos anaeróbicos y se generan condiciones nocivas Sawyer et al (2001).

2.2.3.2. El potencial hidrógeno (pH): Es una medida de la acidez o basicidad de una solución, la concentración del ión hidrógeno es muy relevante en las aguas naturales como en las aguas residuales. El pH de la mayoría de las aguas naturales esta entre 6 - 9 unidades. El pH permanece razonablemente constante a menos que la calidad del agua cambie debido a las influencias de tipo natural o antropogénicas Barba (2002), por lo que si se da un cambio radical puede afectar de manera negativa a los procesos biológicos y sobrevivencia de las especies que estén interactuando en ese ecosistema (Rocha, ob.cit.)

2.2.3.3. Sólidos totales: estas partículas se definen por su imposibilidad de ser separadas de la muestra de aguas usando un filtro. Las partículas más pequeñas, incluyendo especies conteniendo cargas iónicas.

2.2.3.4. La conductividad eléctrica: refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua (Atkins, ob.cit.)

2.2.3.5. Salinidad: Una de las características de la calidad del agua es la salinidad formada por las sales disueltas o sólidos en suspensión que tiene las aguas naturales. Cantidad de sólidos disueltos se determina en forma semicuantitativa con la conductividad del agua, cuanto mayor sea la conductividad, mayor es la cantidad de sólidos disueltos y después de cierto valor límite que fija la norma de calidad del agua, ya no es conveniente su consumo directo sin un tratamiento previo (Rocha, ob.cit)

2.2.3.6. Turbidez: El hidrógeno gas liberado durante el proceso de quemado reacciona fuertemente con el oxígeno del aire. Ciertos compuestos de sodio no reaccionan de manera tan inmediata con el agua, pero de todas formas son solubles en agua. (Atkins, ob.cit.)

2.2.3.7. Coliformes totales: son las *enterobacteriaceae* lactosa-positivas y constituyen un grupo de bacterias que se definen más por las pruebas usadas para su aislamiento que por criterios taxonómicos. Pertenecen a la familia *enterobacteriaceae* y se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, más o menos rápidamente, en un periodo de 48 horas y con una temperatura de incubación comprendida entre 30-37°C.

Dentro del grupo de los coliformes totales existe un subgrupo que es el de los Coliformes fecales. Los coliformes fecales son coliformes totales que además fermentan la lactosa con producción de ácido y gas en 24-48 horas a temperaturas comprendidas entre 44 y 45°C en presencia de sales biliares.

Los coliformes fecales comprenden principalmente *Escherichia coli* y algunas cepas de *Enterobacter* y *Klebsiella*. Su origen es principalmente fecal y por eso se consideran índices de contaminación fecal. Pero el verdadero índice de

contaminación fecal es *Escherichia coli* tipo I ya que su origen fecal es seguro. Desde el punto de vista metodológico *Escherichia coli* es el Coliforme ás es positivo a la prueba del Indol.

2.2.3.8. Bacterias coliformes como indicadores de contaminación fecal: El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación fecal debido a que estos forman parte de la microbiota normal del tracto gastrointestinal, tanto del ser humano como de los animales homeotermos y están presentes en grandes cantidades en él. Los microorganismos coliformes constituyen un grupo heterogéneo de amplia diversidad en términos de género y especie. Todos los coliformes pertenecen a la familia enterobacteriaceae.

2.2.4. Fitorremediación: Constituye un conjunto de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas que pueden extraer, concentrar, degradar, volatilizar o vaporizar in situ o ex situ la concentración de varios compuestos o sustancias tóxicas, a través de su agua mineral natural y captación, transporte, asimilación y transpiración, solamente utilizando la energía solar Delgadillo (2011) y Singh (2007).

Por las extraordinarias características fisiológicas y morfológicas que la planta vetiver ha demostrado ser altamente tolerante a elevadas concentraciones de sustancias tóxicas, por el alto ratio de crecimiento y la capacidad de absorción se le considera apta para los diferentes procesos que engloba la fitorremediación Wildschut (2013).

2.2.4.1. Los procesos presentes en la fitorremediación son los siguientes:

a) Fitoextracción; la planta absorbe del suelo o agua los contaminantes y los concentra en su parte vegetal. La contaminación se elimina mediante sucesivas cosechas y tratamiento de la parte vegetativa. Para ello se emplean determinadas especies de plantas, llamadas hiperacumuladoras por la elevada proporción en la que se acumulan metales pesados en sus tejidos, además de tener una alta producción de biomasa.

b) Fitoestabilización; las plantas reducen la biodisponibilidad de los contaminantes del medio donde se encuentre, y sucesivamente mejora las propiedades físicas y químicas.

c) Fitovolatilización; la planta extrae los contaminantes orgánicos del suelo o del agua y los volatiliza a través de su tejido.

d) Fitodegradación; las plantas acuáticas o terrestres asimilan, almacenan y biodegradan sustancias orgánicas.

e) Rizofiltración; se utilizan las raíces de las plantas para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos en el que la masa radicular actúa como filtro que retiene a los contaminantes. Se emplea para el tratamiento de aguas residuales o aguas contaminadas, el vetiver es indicado para estos tipos de tratamientos, ya que crece bien con las raíces sumergidas en condiciones hidropónicas.

Según Truong (1999) y Roongtanakiat (2006) afirman que el vetiver no es una planta hiperacumuladora, pero las características únicas del vetiver destacan y superan los límites de la fitorremediación; debido al carácter no hiperacumulador, el vetiver no representa un riesgo para los animales de pastoreo y la biomasa cosechada no debe clasificarse como residuo peligroso.



Figura 1. Rutas de Fitorremediación, Fuente: Singh et al. (2003).

2.2.4.2. Rizofiltración: utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz. En la rizofiltración estas plantas se cultivan de manera hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan. A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final. La rizofiltración es una de las opciones que presenta mejor relación de costo-beneficio respecto a otros métodos empleados para el tratamiento de efluentes líquidos. Además es estética y naturalmente amigable con el ambiente, por lo que se presenta como una forma de descontaminación socialmente aceptable para las comunidades circundantes y para los organismos de control respectivos. Un resumen de los parámetros que regulan el proceso de rizofiltración según (Dushenkov et al., 1995)

La evapotranspiración (Evp) está relacionada con el crecimiento vegetal, mientras las plantas no muestren síntomas de toxicidad que les impida el crecimiento, la evapotranspiración puede ser importante y conveniente desde el punto de vista del tratamiento de agua porque reduce el volumen. El volumen de agua en el tanque (V_t) debe mantenerse relativamente constante para que las raíces de las plantas se encuentren siempre en contacto con el agua. El flujo de entrada del agua o volumen de ingreso (V_i) habría que fijarlo en función de los parámetros comentados anteriormente pero también del tiempo de residencia de agua en el tanque.

Si bien la concentración inicial (C_i) disminuye drásticamente en las primeras 24 horas, tanto por la adsorción a paredes del recipiente (C_{ad}) como a la retención en la pared celular es necesario realizar ajustes para evaluar la conveniencia de reducir el tiempo total de contacto porque esto reduciría el consumo de agua.

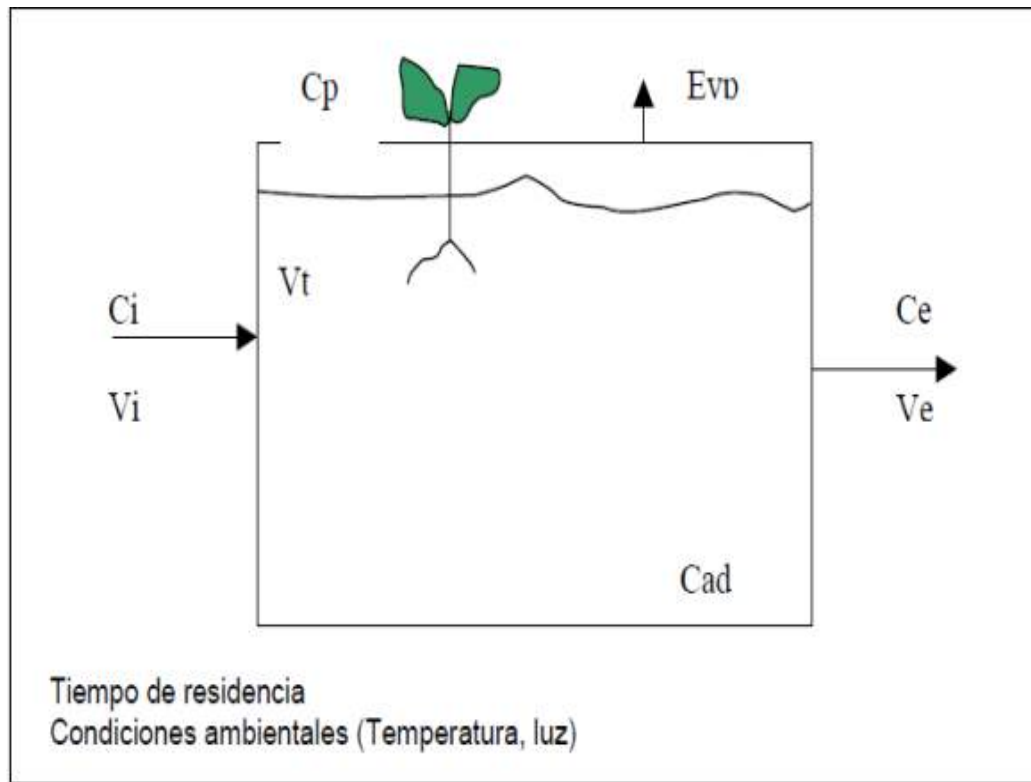


Figura 2. Esquema de Rizofiltración
Fuente: Dushenkov et al., 1995)

2.2.4.3. La planta de vetiver (*chrysopogon zizanioides*) (L.) Roberty, antes clasificada como vetiveria zizanioides, (L.) Nash, es caracterizada por atributos morfológicos únicos; una planta herbácea, gramínea, perenne que se desarrolla en grandes macollos a partir de una masa radicular muy ramificada y esponjosa por lo que no tiene rizomas ni estolones, no son invasivas ni estériles; por lo que la manera más usual de propagar la planta es separando brotes maduros de la macolla de vetiver, obteniendo hijos o también llamados “esquejes”, a raíz desnuda para ser plantados de forma inmediata en el campo o en contenedores, desarrollando tallos bien erguidos y rectos de 0,5 a 1,5 m Orihuela (2007).

Su sistema radicular es muy fuerte desarrollándose verticalmente hasta una profundidad de 4 m aunque lo más frecuente es de 2 m o 3 m, se extienden sólo unos 0,5 m alrededor de la planta, tiene hojas sencillas, largas y rígidas de 0,3 m – 1 m de largo y de 4-10 mm de ancho, el vetiver puede alcanzar una altura de 2 m (Wildschut,

ob.cit.). El vetiver una vez plantado crece muy rápido, puede desarrollarse en 6 meses una planta de 2 m de altura y con raíces de 1 m de largo que llegan a la madurez entre los 18 y 24 meses con raíces de hasta 4 m; también se caracteriza por poseer una longevidad alta, de más de 50 años. A la vez desarrolla un sistema radicular poderoso, profundo y muy resistente por lo que tanto la parte aérea como subterránea crea una barrera eficaz (Wildschut,ob.cit.)

El vetiver proviene de la India especialmente de los pantanos; es tanto hidrófita, como xerófita, una vez establecida puede resistir sequías, inundaciones y prolongados periodos de anegamiento, su cultivo se necesita ser realizado en pleno sol por lo que requiere altos requerimientos de la luz solar y en sombra (superior a un 40%) crece más despacio o muere. La planta por su lugar de origen estado tropical, se desarrolla óptimamente a temperaturas de 20–30°C, aunque puede tolerar temperaturas aéreas de –15°C y +40°C (Wildschut ,ob.cit.) En medio acuático, las raíces se desarrollan menos, pero aún presentan una masa densa de raíces finas con un diámetro promedio de 0,5-1 mm.

La rizósfera ofrece de esta manera una superficie específica (m² /m³) grande para el establecimiento de una masa microbiana activa (Wildschut,ob.cit.). El vetiver como especie propia de pantano muestra un elevado nivel de evapotranspiración que puede llegar a 30 mm/día y además un umbral de salinidad de 8 dS/m (Truong ,ob.cit.)

2.2.4.4.Eficiencia del vetiver: El diccionario de la lengua Española (2014), expresa que la eficiencia es “virtud y facultad para lograr un efecto determinado”; Truong (2004) y Herrera (2015), indican que el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) posee las características adecuadas para la protección del medio ambiente, por su tolerancia a soportar niveles elevado e inclusive tóxicos, además de ser eficiente en absorber nutrientes tales como N, P y metales pesados en aguas contaminadas y de bajo costo.

Se ha demostrado en investigaciones que el vetiver hidropónicamente es capaz de remover nitrógeno total de 100 mg/L a 6 mg/L (94 % de eficiencia); el fósforo total

de 10 mg/L a 1 mg/L (90 %); y aumentar niveles de oxígeno disuelto de 75% y P fue de entre 15 a 58%. Xuhui et al y Liao et al (2003).

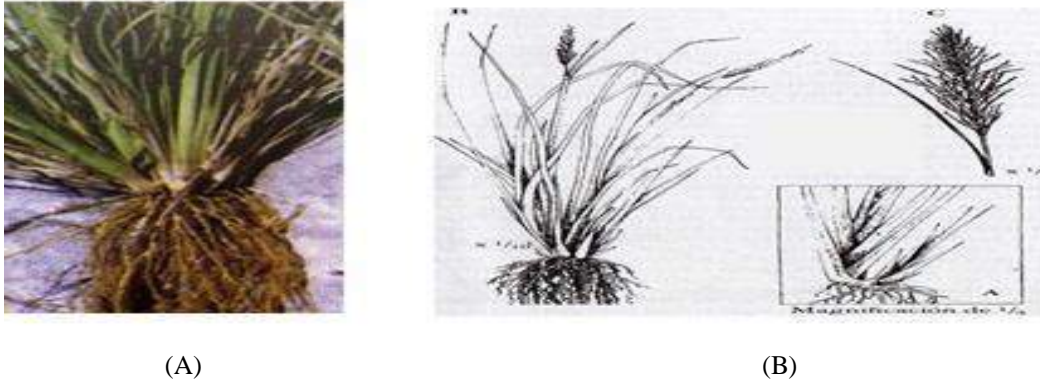


Figura 3. (A) planta vetiver. (B) Estructura de la planta
Fuente: Xuhui et al y Liao et al (2003).

Las barreras de vetiver son también de gran utilidad para proteger acequias, cañerías y cursos de agua, estabilización y delimitación de caminos y carreteras, reforzamiento de estructuras de todo tipo y prevención de corrimientos de tierra.

Otras aplicaciones son: barrera contra la erosión, para control de avalanchas de agua, anti contaminación atmosférica, delimitación de áreas diversas, creación de presas de tierra de bajo coste, prevención de desastres naturales, mantenimiento de taludes de tierra, control de sedimentos, fuente de mulch (restos vegetales, en este caso hojas cortadas) para protección del suelo, especie pionera para reforestación de áreas problemáticas o difíciles, creación, conservación y potenciación de sistemas agroforestales, recarga de acuíferos y aguas subterráneas, protección de cultivos, protección y defensa de acequias y cursos de agua, entre otros.

2.2.4.5. Fundamentos de la tecnología vetiver como tratamiento de aguas: Como se mencionó en apartados anteriores En las últimas décadas del siglo XX surgieron tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar emplazamientos contaminados y recuperar los ecosistemas afectados. Cuando estas tecnologías se basan en el uso de plantas, globalmente reciben el nombre de fitorremediación, se define como el uso de plantas verdes para eliminar los contaminantes del entorno o para reducir su peligrosidad.

El sistema vetiver utiliza este sistema para su operación; al tratarse de una tecnología que utiliza las potencialidades de la especie Vetiver para extraer contaminantes de suelos y aguas. Dentro de las técnicas de Fitorremediación se encuentran la fitoextracción, la cual como su nombre lo indica consiste en extraer con plantas algún agente contaminante. Otro nombre conocido para este tipo de sistemas que simulan condiciones que ocurren de manera natural para eliminar contaminantes del medio son los humedales. Los humedales artificiales han sido considerados como una efectiva tecnología para el tratamiento de aguas contaminadas con metales. Una ventaja de esta tecnología es que por ser un sistema de tratamiento pasivo, los costos de operación y mantenimiento son significativamente más bajos que para procesos de tratamiento activos. Los humedales artificiales usan procesos biogeoquímicos naturales inherentes a un ecosistema natural para acumular y remover metales de las aguas residuales afluentes.

2.2.4.6. Sistema hidropónico: El término de hidropónico hace referencia a cultivos en una solución de agua y nutrientes, el sostén que solía ser el suelo es sustituido por otra forma de anclaje o estructura flotante de manera que en poco tiempo y con menos esfuerzo se cultive Bosque (2010); en este sistema la raíz no suele desarrollarse tanto puesto que el agua les proporciona los nutrientes y no tiene que recorrer espacios en busca de sustentos como el caso de cultivos en tierra Alpíza (2004) por lo que ya se ha estado reemplazando los métodos convencionales de producción de plantas.

Existen algunos sistemas hidropónicos los cuales destacan dos principales: el sustrato sólido es el más utilizado donde se hace el anclaje de las raíces, el cual se puede colocar en camas o canales. En el segundo sistema, considerado realmente hidropónico, es el de la raíz flotante, en donde las raíces permanecen sumergidas en una solución líquida nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para suministrarle oxígeno a las raíces Guzmán (2004) y Jiménez (2010). El Sistema hidropónico aplicado para desarrollar en condiciones hidropónicas la planta de vetiver, es el sistema adic voca referido así por Troung y Hart (2001), el cual consiste

en ubicar estructuras flotantes en balsa forradas en malla de anexo para el establecimiento del vetiver.

2.2.5. Bases legales

Constitución Venezolana (1999): Artículo 127 establece que es un deber y un derecho de cada generación proteger y mantener el ambiente, para beneficio de ella misma y de las futuras generaciones. Además indica que es deber del Estado proteger los procesos ecológicos, lo cual señala la necesidad de manejar eficientemente los recursos agua y suelo.

Decreto No 883 (1995) de la norma para la clasificación y el control de calidad de cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado. En su artículo 3, indica que la gestión integral de las aguas comprende, entre otras cosas, el conjunto de actividades de índole técnica, científica, económica, financiera, institucional, gerencial, jurídica y operativa, dirigidas a la conservación y aprovechamiento del agua en beneficio del colectivo.

Por lo tanto en el artículo 5 del decreto 883 se clasifica los cuerpos de agua de acuerdo con el grado de intervención o degradación, atendiendo a sus usos actuales y potenciales utilizando como herramienta índices de calidad de agua.

2.2.6 Operacionalización de Variables

2.2.7.1. Variables dependientes: Control de contaminantes, sólidos totales, Ph, conductividad, sodio, carbonato, coliformes totales.

2.2.8.2. Variable independiente: Planta adulta de vetiver

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo de investigación

Según Zorrilla (1993) la investigación es experimental, ya que no solo identifica las características que se estudian sino que las controla, las altera o manipula con el fin de observar los resultados al tiempo que procura evitar que otros factores intervengan en la observación.

3.2. Modalidad de la investigación

La presente investigación es de modalidad evaluativa, ya que el objetivo es evaluar los resultados utilizando diferentes muestras, que han sido, o están siendo aplicados dentro de un contexto determinado. Se diferencia de la confirmatoria en que los resultados que intenta obtener son más específicos y se orientan hacia la solución de un problema concreto en un contexto social o institucional determinado Hurtado (2007)

3.3. Unidad de estudio

El estudio se desarrolló en el embalse del Guamal, ubicado en las cercanías del pueblo de Macapo, municipio Lima Blanco, parroquia Macapo, estado Cojedes. Era afluente del río Macapo que a su vez es tributario importante del río Tinaco y forma parte del acueducto local del pueblo de Macapo (Silva, 1995). La fisiografía es de colinas altas y montañas bajas, con pendientes que varían entre 10 y 70% con un promedio de 35%.

Las altitudes comprenden entre 400 y 800 msnm., los suelos son bien drenados, con texturas franco-arenosas y franco-arcillosas, de profundidad variable. La precipitación promedio anual es de 1400 mm, distribuida estacionalmente, con época lluviosa entre mayo y octubre. La temperatura promedio varía entre 20 y 26 °C. La vegetación predominante es de herbazales densos y arbolados en las laderas, y

bosques de galería densos. Se encuentran áreas de bosque claro y de matorral. El uso de la tierra es disperso, de ganadería extensiva y agricultura de subsistencia con barbechos prolongados (Silva, 2004).

Arteaga y Mantovani (1999) describen que la mayoría de la agricultura practicada en la zona contempla los cultivos de maíz, yuca, ñame y leguminosas en asociación y se trata de parcelas pequeñas (0,5 a 2 ha), con muy bajo nivel de insumos y mano de obra fundamentalmente familiar. La ganadería existente representa una actividad importante en la zona por la extensión que ocupa y por el posible efecto que tiene en la degradación de los suelos y destrucción de la vegetación natural, por tala de los bosques de galería para el asentamiento de potreros y por el sobrepastoreo sobre la vegetación de sabana. Según (Arteaga y Mantovani,ob,cit.), la capacidad de uso de la tierra posee severas limitaciones siendo aptas para explotación de pastizales y bosques, teniendo como condición restrictiva más importante la erosión hídrica.



Figura 4 Mapa de Cojedes

Fuente:propia



*Figura 5. (a) Represa el Guamal sin precipitaciones (b) Represa el Guamal con precipitaciones
Fuente: propia*

3.4. Diseño Experimental

El diseño es completamente al azar unifactorial, con un numero de 4 tratamientos y 3 repeticiones en el cual se utilizaron 4 niveles, (1) muestra de agua testigo de 2 lts sin esquejes, muestra de 30 esquejes de vetiver, muestra con 12 esquejes de vetiver, muestra con 4 esquejes de vetiver, muestra con 2 esquejes de vetiver.

Tabla 1.

Delineamiento experimental

DISEÑO EXPERIMENTAL	DISEÑO UNIFACTORIAL COMPLETAMENTE AL AZAR
NUMERO DE TRATAMIENTOS	4
NUMERO DE REPETICION	3
NIVELES	ESQUEJES DE PASTO DE VETIVER
	1.- 30 esquejes
	2.- 12 esquejes
	3.- 4 esquejes
	3.- 2 esquejes

Fuente: propia

Tabla 2.
Descripción de las unidades experimentales

UNIDADES EXPERIMENTALES	NOMENCLATURA	ESQUEJES	AGUA DE REPRESA
1	M 0,30	30	2 LTS
2	M 0,30	30	2 LTS
3	M 0,30	30	2 LTS
4	M 0,12	12	2 LTS
5	M0,12	12	2 LTS
6	M 0,12	12	2 LTS
7	M 0,4	4	2 LTS
8	M 0,4	4	2 LTS
9	M 0,4	4	2 LTS
10	M 0,2	2	2 LTS
11	M 0,2	2	2 LTS
12	M 0,2	2	2 LTS

Fuente: propia

3.5. Fases de la Investigación

Fase I. Diagnosticar el agua de la represa el Guamal, mediante análisis físicos, químicos y microbiológicos.

- 1.- Se realizó un muestreo en represa y quebrada, sector el Guamal.
- 2.- Se recolecto una muestra testigo de 2 litros de agua según norma covenin 2634: 2002 aguas naturales, industriales y residuales, y se llevó al laboratorio Paula Correa Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INSAI Cojedes) ubicado en el sector el Topo.
- 3.- Los valores obtenidos se cotejaron con la norma covenin de aguas 2614 - 94

Fase II. Realizar montaje de un sistema de tratamiento con diferentes cantidades de pasto vetiver en muestra obtenida de la represa

1.-La planta de vetiver utilizada fue donación del Señor Miguel López, habitante de la zona, que desde hace 15 años posee vetiver para control de erosión y conservación de suelos en pendiente; como método de barrera en agricultura, cediendo espacio de la casa para montaje del experimento, donde se seleccionaron 144 esquejes, cuyas raíces estuvieran más desarrolladas en la zona alta del sector Buenos Aires; así mismo se podaron las hojas a una misma longitud (se recomienda cortar a los 30 cm para reducir la transpiración y estimular la rápida emergencia de raíces y hojas).

2.- Como base de las unidades experimentales, se ubicó el agua proveniente de la represa, la cual se recolectó manualmente utilizando pequeños recipientes de plástico en los puntos de muestreo referentes a focos de contaminación; ésta se almacenó en un recipiente de 20 lts para su homogenización. Luego se procedió a distribuir en cantidades más pequeñas, 2lts. de agua extraída para cada una de las unidades experimentales utilizando envases de reciclaje.

3.- Se adaptó un modelo hidropónico donde se colocó los esquejes de la planta del vetiver flotando; cada planta con una profundidad en la raíz de 10 cms.

Fase III. Comprobar la eficiencia del pasto vetiver para la fitorremediación mediante análisis de indicadores físicos, químicos y microbiológicos.

1.- Se procedió a llevar las doce (12) muestras de agua tratadas con vetiver, al laboratorio Paula Correa, Instituto nacional de investigaciones agrícolas (INSAI Cojedes) ubicado en el sector El Topo, para proceder al análisis, transcurridos 20 días luego de haber realizado el montaje, de esta manera se comprobó la eficiencia del pasto vetiver para la fitorremediación mediante los análisis de indicadores físicos, químicos y microbiológicos bajo las normas covenin 2614 – 94, y organización mundial de la salud (OMS).

CAPÍTULO IV

DESCRIPCION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Diagnosticar el agua de la represa el Guamal, mediante análisis físicos, químicos y microbiológicos

Para la realización del ensayo se tomó la muestra de dos (2) lts de agua proveniente de la represa El Guamal, la cual se almaceno en un recipiente de vidrio, y fue llevada al laboratorio Paula Correa del INSAI Cojedes; para sus respectivos análisis físicos, químicos y microbiológicos. En la tabla 3 se muestran los resultados de dichos análisis, los cuales se tomaron como datos iniciales; así como los diferentes criterios de calidad admisibles, para aguas según OMS y las normas covenin de coliformes totales 3047-93

Tabla 3.

Resultados iniciales obtenidos en el laboratorio INSAI

ANALISIS FISICOQUIMICO	PARAMETROS	RESULTADOS
PH	6,5-8,5 a 24 °C	5,9 A27 C
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	Hasta 500 mg/l	643
DUREZA	300 a 500 SUPERIOR $\mu\text{S}/\text{cm}$, 27,8 ° C	327
SOLIDOS TOTALES	150 a 250 superior ppm	327
ANALISIS MICROBIOLOGICO : COLIFORMES TOTALES	$\leq 2,2$ NMP / 100 ml.Limite de confianza de 95%	Negativo

El pH indica la acidez del agua, el rango varía entre 6,5 y 8,5, según los parámetros indicados en la tabla 3, la mayoría de las plantas y animales acuáticos prefieren vivir en un agua que tenga un equilibrio alcalino, por lo tanto debe tener un valor muy cercano a 7. Los animales y plantas se han adaptado a un pH específico, y si el pH del agua se sale de estos límites podrían morir, dejar de reproducirse o emigrar. En la muestra inicial el pH no se encontraba dentro del límite permisible; y

presento un valor inferior al límite, el cual no es apto para la supervivencia de las plantas y los animales.

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con los sólidos totales disueltos. Es por esto que la conductividad es una medida generalmente útil como indicador de la calidad de aguas dulces. El valor obtenido en la conductividad eléctrica fue de 643 us/cm y la organización mundial de la salud (OMS) establece que una conductividad superior a 500 us/cm. puede indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados, lo cual confirma que con el paso de los años que se va debilitando el ecosistema natural.

El resultado obtenido en la muestra con relación a la dureza fue de 327 ppm, valor por encima de lo permitido; esta es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. La dureza es indeseable en algunos procesos, tales como el lavado doméstico e industrial, provocando que se consuma más jabón, al producirse sales insolubles e incrustaciones en los tanques de caldera.

Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras no son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas; sin embargo, un agua dura requiere demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado; además deposita lodo e incrustaciones sobre las superficies con las cuales entra en contacto, así como en los recipientes, calderas o calentadores en los cuales se calienta.

4.2. Realizar montaje de un sistema de tratamiento con diferentes cantidades de pasto vetiver en muestra obtenida de la represa

En la primera semana del experimento los esquejes del vetiver no reflejaron crecimiento, y según Kong et al., (2003), especifica que el vetiver puede incrementar el crecimiento de las raíces a los 3 y 7 días. Por otra parte, durante todo el experimento mostraron síntomas cloróticos de coloración pardusca en algunas de las

hojas por estrés fisiológico, probablemente por poca iluminación de rayos solares o posiblemente presencia de metales, corroborando lo manifestado por Torres et al., (2007) en un estudio preliminar de fitorremediación, donde revela que los síntomas de estrés es una de las respuestas visibles ante una alta concentración de toxicidad por parte de los metales, y que estos síntomas en las plantas son muchas veces frecuentes a los distintos metales, como son la disminución del crecimiento y amarillamiento de las hojas por reducción de la eficiencia fotosintética conocido fitopatológicamente “clorosis”.

Durante los 20 días que duró todo el ensayo, el porcentaje total de mortalidad fue de 0,1 %, lo cual representa 14,4 de 144 individuos del pasto vetiver que no sobrevivieron, y donde hubo mayor pérdida de esquejes muertos fue en el segundo tratamiento M 0,12 (12 esquejes + 2 L). Probablemente no hayan resistido por ser los esquejes muy tiernos por lo que se observó que todos aquellos que habían muerto no tenían bien desarrollado sus tallos erguidos, sin embargo, tenían un enraizamiento bien desarrollado, razón, por la que se decidió ubicarlos en el ensayo.

4.3. Comprobar la eficiencia del pasto vetiver para la fitorremediación mediante análisis de indicadores físicos, químicos y microbiológicos.

Tabla 4.
Muestra con 30 esquejes (Resultados Insai)

ANALISIS FISICOQUIMICO	PARAMETROS	M 0,30(I)	M 0,30 (II)	M0,30(III)
SOLIDOS TOTALES	hasta 500 mg/ml	480	485	482
PH	6,5-8,5 a 24 °C	7,0	7,1	7,1
CONDUCTIVIDAD	300 a 500 SUPERIOR $\mu\text{S}/\text{cm}$, 27,8 ° C	350	358	353
DUREZA	150 a 250 superior ppm	172	172	172
COLIFORMES TOTALES	$\leq 2,2$ NMP / 100 ml.Limite de confianza de 95%	Negativo	Negativo	Negativo

Tabla 5.
Muestra con 12 esquejes (Resultados Insai)

ANALISIS FISICOQUIMICO	PARAMETROS	M 0,12 (I)	M 0,12 (II)	M0,12(III)
SOLIDOS TOTALES	hasta 500 mg/ml	230	240	232
PH	6,5-8,5 a 24 °C	6,8	6,8	6,8
CONDUCTIVIDAD	300 a 500 SUPERIOR $\mu\text{S}/\text{cm}$, 27,8 ° C	420	432	425
DUREZA	150 a 250 superior ppm	230	230	230
COLIFORMES TOTALES	$\leq 2,2$ NMP / 100 ml.Limite de confianzade 95%	Negativo	negativo	Negativo

Tabla 6.
Muestra con 4 esquejes (Resultados Insai)

ANALISIS FISICOQUIMICO	PARAMETROS	M 0,4 (I)	M 0,4 (II)	M0,4(III)
SOLIDOS TOTALES	hasta 500 mg/ml	220	225	224
PH	6,5-8,5 a 24 °C	6,5	6,5	6,4
CONDUCTIVIDAD	300 a 500 SUPERIOR $\mu\text{S}/\text{cm}$, 27,8 ° C	455	458	458
DUREZA	150 a 250 superior ppm	315	318	310
COLIFORMES TOTALES	$\leq 2,2$ NMP / 100 ml.Limite de confianzade 95%	Negativo	negativo	Negativo

Tabla 7.

Muestra con 2 esquejes (Resultados Insai)

ANALISIS FISICOQUIMICO	PARAMETROS	M 0,2 (I)	M 0,2 (II)	M0,2(III)
SOLIDOS TOTALES	hasta 500 mg/ml	200	205	208
PH	6,5-8,5 a 24 °C	6,2	6,1	6,2
CONDUCTIVIDAD	300 a 500 SUPERIOR $\mu\text{S}/\text{cm}$, 27,8 ° C	560	570	552
DUREZA	150 a 250 superior ppm	327	327	327
COLIFORMES TOTALES	$\leq 2,2$ NMP / 100 ml.Limite de confianza de 95%	Negativo	negativo	Negativo

A partir de los resultados obtenidos en los análisis realizados a las muestras de agua tomadas en la represa El Guamal, utilizando tres (3) repeticiones y diferentes cantidades de esquejes de vetiver; se pudo observar en el análisis de sólidos totales que todas las muestras estuvieron dentro del parámetro permisible, observándose un incremento en la muestra con 30 esquejes, donde resulto un valor de 553mg/l (valor de la media), con respecto a los demás ejemplares; esto, debido a la cantidad de sólidos en suspensión, ya que la separación entre esquejes era mínima, y esto trajo como consecuencia la no oxigenación, por lo que la muestra obtuvo una apariencia más turbia; siendo la más viable la muestra con 2 esquejes, la cual se mantuvo dentro del parámetro establecido según normas y presento una apariencia más clara al cabo de los 20 días que duro el ensayo.

Para los indicadores del pH, en todas las muestras los valores obtenidos están cercanos al rango establecido, no obstante, se puede decir que la muestra con 30 esquejes presenta un valor de pH más cercano a 7; lo cual indica que el agua presenta un equilibrio alcalino, y sería lo más apto para el equilibrio del ecosistema.

Con relación a los valores obtenidos en el análisis de conductividad, la muestra con 2 esquejes resulto todavía con un valor alto y fuera de los límites establecidos

según norma, esto indica que el agua contiene gran cantidad de sales disueltas, lo cual trae como consecuencia que no es apta para la vida del ecosistema natural, por lo tanto, se pudo demostrar que a medida que se aumenta la cantidad de esquejes el valor de la conductividad disminuye, estando dentro del rango establecido; en este caso resulto ser en la muestra que se utilizó 30 esquejes.

En el análisis de dureza también se pudo observar, que este parámetro disminuye a medida que aumenta el número de esquejes, por lo tanto la muestra con 30 esquejes es la más apta, para mejorar la calidad del agua; y se podría utilizar para fines agrícolas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Los resultados obtenidos características fisicoquímicas y microbiológicas del agua demuestran que el vetiver es una planta eficiente, dependiendo de la cantidad de esquejes que se utilicen y así lograr mantener el equilibrio en el ecosistema natural presente en la represa El Guamal.
- ✓ En el montaje realizado con diferentes cantidades de esquejes de pasto vetiver con muestra obtenida de la represa utilizada en el ensayo presentaron adaptación, desarrollo y resistencia al agua, determinándose el 1% de mortalidad, lo que probablemente se debe al uso de esquejes muy tiernos. Se observó que el pasto es sensible a la baja iluminación de rayos solares por lo que en el montaje hubo apariencia de color amarillento en el follaje.
- ✓ El mejor tratamiento comparando los valores obtenidos, fue donde se utilizó 30 esquejes del pasto vetiver en un volumen de 2 litros de agua, por lo que presentó un resultado significativo en el control de parámetros de calidad mostrando factibilidad de instalar un sistema hidropónico en la represa el guamal, el cual permite mantener el equilibrio en el ecosistema.
- ✓ Se recomienda realizar análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en épocas de lluvia, debido a las variaciones de flujo que presenta la represa, lo cual puede presentar cambios relevantes en los parámetros analizados.
- ✓ Utilizar esquejes que tengan bien desarrollado su tallo, para evitar menor porcentaje de mortalidad.

- ✓ En lo posterior investigar la aplicación de pasto vetiver y su eficiencia en la remoción de metales pesados presentes en las aguas de esta represa. Realizar análisis de DBO, DQO, oxígeno disuelto, compuestos orgánicos como fosfato, nitrógeno los cuales es posible se encuentren disueltos en el agua.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Atkins, P. W. 1993. Reacciones químicas: materia en movimiento. Maastricht, naturaleza y tecnología.
- Arteaga, C. y Mantovani L. 1999. Evaluación de tierras en sistemas agrícolas de subsistencia en áreas montañosas. Caso Macapo, estado Cojedes. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. 194 p
- Barba, L. 2002. Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición: pH. Santiago de Cali, (En línea). CO. p 41-42. Consultado, 14 de julio. 2015. Formato PDF.
- Bosques, J. 2010. Curso básico de hidroponía. Capa Moca. PR. p29 DRAE (Diccionario de la Lengua Española). 2014. 23.ª Edición. Madrid, ES
- Guzmán, G. 2004. Hidroponía en casa: Una actividad familiar. p 5 (En línea). CR. Consultado, 10 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.mag.go.cr>
- Higuera, S 2000. Biofiltros de vetiver y cascarilla de arroz Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Yopal, Casanare, Colombia.
- Jiménez, M. 2010. Manual instructivo alternativas productivas en cultivos hidropónicos. Comité Coordinador Operativo Geco Huetar Atlántico, Platicar-INTA Sector Caribe Norte de Costa Rica. P 9-10. (En línea). CR. Formato PDF. Disponible en <http://www.platicar.go.cr> Consultado, 15 de jul. 2015
- Kong, X; Lin, W; Wang, B. y Fuh, L. 2003. Estudio sobre la purificación del vetiver para aguas residuales procedentes de un criadero de cerdos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO 2003. Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. (En línea). Formato PDF. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/> Consultado, 19 nov. 2015
- Orihuela, J. 2007. Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides) (En línea). PE. Consultado, 15 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en www.vetiver.com

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA. 2012. Aguas saludables para el desarrollo sostenible: Estrategia operativa del PNUMA para el agua dulce (2012-2016)
- Rocha, E. 2010. Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas Editorial Universidad Autónoma de Chihuahua. México. (En línea). MX Formato PDF. Disponible en <http://www.oocities.org/> Consultado, 16 de jul. 2015
- Roongtanakiat, N. 2006. Vetiver in Thailand: general aspects and basic studies. Kasetsart Journal: Natural Science Vol. 24. p 13-19 (En línea). Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.com/> Consultado, 15 de jul. 2015
- Ruiz, C. 2000. Desarrollo de un sistema de tratamiento para la remoción de flúor del agua mediante el uso de vetiver *Vetiveria zizanioides* L., en Guarataro, Yaracuy, Venezuela". Trabajo de grado Post grado en Ingeniería Agrícola .UCV
- Salt, D; Kumar N., Dushenkov V. y Raskin I. 1994. Phytoremediation: Un nuevo Tecnología para la limpieza ambiental de metales tóxicos. En: recursoTecnologías de Conservación y Medio Ambiente en Industrias Metalúrgicas. Actas del Simposio Internacional sobre Conservación de Recursos y Tecnologías ambientales en industrias metalúrgicas. P. Mahant, C. Pickles y W.-K. Lu (eds.) Instituto Canadiense de Minería: 381-384.
- Sawyer, C; McCarty, P; Parkin, G. 2001. Química para ingeniería ambiental. 4 ed. Editorial: Contextos Gráficos. Bogotá, CO. p 475 - 645
- Singh, O; Labana, G; Pandey, R; Budhiraja, R. 2003 Fitorremediación: una descripción general de la descontaminación de iones metálicos del suelo. Microbiología Aplicada y Biotecnología. 61: 405-412
- Silva, O. 1995. Validación del modelo de simulación hidrológica SWRRB en una cuenca pequeña, de altas pendientes y lluvia estacional. Caso Macapo, estado Cojedes. Trabajo de Maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. UCV. 106 p
- Silva, O. 2004. El modelo SWAT en una cuenca pequeña de altas pendientes: simulación de la producción de agua. Agronomía Tropical. 54(3): 275-291 p
- Torres, D 2007. Uso del vetiver para la fitorremediación de cromo en lodos residuales de una tenería, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 1, núm. 2, abril-junio, 2010, pp. 173-186 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México

- Truong, P. 1999. Vetiver Grass Technology for Mine Rehabilitation. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin N° 2. Vetiver Conf. TH. (En línea). Formato HTML. Disponible en <http://www.vetiver.com/> Consultado, 21 de julio del 2015
- Wildschut, L. 2013. Mercados potenciales de tecnologías de biorremediación con vetiver. 1 ed. Madrid. ES. (En línea). Formato PDF. Disponible en <http://www.eoi.es> Consultado, 15 de jul. 2015
- Zorrilla, A. 1993. “Introducción a la metodología de la investigación”. México, Aguilar León y Cal, Editores, 11ª Edición. 1993.

ANEXOS



Represa el guamal 2017



Recolección de muestra para el ensayo



Extracción de planta de Vetiver



Ensayo hidropónico de vetiver



Recolección final de la muestra



Extraccion de vetiver para la obtención de agua





Muestra con 4 esquejes de vetiver



Muestra con 2 esquejes de vetiver



Muestra con 12 esquejes de vetiver



Muestra con 30 esquejes

