

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL



DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"

VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL

PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA

SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO

## TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**AUTOR:** Ismarys González

CI: 26.468.006

**Tutor Académico:** Gericksson H. Devies A.

Barinas, Enero 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"  
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL  
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA  
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO

**DISEÑO PRELIMINAR DE UN PROTOTIPO DE BIOFILTRO  
FLOTANTE PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN LAS  
ESTACIONES DE FLUJO BARINAS, 2018-2019.**

**AUTOR:** Ismarys González

C.I: 26.468.006

**Tutor Académico:** Gericksson H. Devies A.

Barinas, Enero 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"  
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL  
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA  
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO

**DISEÑO PRELIMINAR DE UN PROTOTIPO DE BIOFILTRO  
FLOTANTE PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN LAS  
ESTACIONES DE FLUJO BARINAS, 2018-2019.**

Trabajo Especial de Grado presentado como requisito parcial para optar por  
el título de: Ingeniero de Petróleo.

**AUTOR:** Ismarys González

C.I: 26.468.006

**Tutor Académico:** Gericksson H. Devies A.

Barinas, Enero 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"  
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL  
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA  
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor (a) del Trabajo de Especial de Grado presentado por el ciudadano González Ismarys del Carmen, C.I. 26.468.006 para optar al título de Ingeniero de Petróleo, considero que este reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Barinas a los \_\_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Qco Gericksson Harrys Devies Angulo

C.I.: 13636850

Tutor



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”  
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL  
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA  
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**DISEÑO PRELIMINAR DE UN PROTOTIPO DE BIOFILTRO FLOTANTE  
PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN LAS ESTACIONES DE  
FLUJO BARINAS, 2019.**

**Autor: Ismarys González**

**C.I: 26468006**

Trabajo Especial de Grado aprobado en nombre de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” por el siguiente jurado, a los \_\_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ 2019.

\_\_\_\_\_  
JURADO C.I.

\_\_\_\_\_  
JURADO C.I.

\_\_\_\_\_  
Ing. Qco Gericksson Harrys Devies Angulo

C.I.: 13636850

TUTOR



## DEDICATORIA

Le doy gracias a Dios por permitirme realizar este proyecto y por darme a mi querida madre Yslei González, la persona que siempre me ha brindado su apoyo incondicional a pesar de tanto esfuerzo, sacrificio para proporcionarme estudios y sin lugar a dudas creer en mis fortalezas, porque siempre estés conmigo para celebrar el cumplimiento de mis metas que no tan solo son míos si no tuyos porque sin ti no sería lo que soy. Mi madre siempre serás mi ejemplo de vida, mi mejor regalo y la mejor guía que Dios me puso en mi camino para saber cómo triunfar en la vida. Gracias por tanto amor, apoyo y cariño.

A mis hermanos Jessica Cordero y Argenis Henriquez por el apoyo que siempre me han brindado en todo lo largo de mi vida. A mis primos Yennys Henriquez, la persona que siempre he considerado como mi segunda madre gracias por tu infinito apoyo incondicional, Yenimar Carpio, Ismarys Carpio por siempre sacarme lo mejor de mí. A mis tíos Gladis Villarroel, Yasmin González por el apoyo que me brindan y a toda mi familia por brindarme su cariño, espero siempre contar con ustedes.

A mis grandes amigos Paola Araque, Annys Villadiego, Efrain Rivas, Jesús García, Yenifer Gil, José Bolívar, Drisly Rojas, Fabián Camacho, Michel Luna, José Bustamante y Jacqueline, por ser buenos amigos que han demostrado estar en los buenos y malos momentos.

**Ismarys**

## RECONOCIMIENTO

A DIOS, por ser mi VIDA, LUZ, GUIA y FORTALEZA. A mí amada madre Yslei González, por ser mí pilar, mi escudo, fortaleza mi mayor inspiración, quien me enseñó a luchar por lo que yo quiero sin importar los obstáculos, junto con Yennis Henríquez, mis motores y pilares principales para seguir superándome.

A mis hermanos Jessica Cordero, Argenis Henríquez por su constante apoyo y motivación.

A la UNELLEZ por abrirme sus puertas y por compartir todas sus enseñanzas y sobre todo por acogerme, guiarme brindándome más conocimientos y permitir mi formación universitaria como Ingeniero de Petróleo. Puedo asegurar que no me equivoqué en elegir esta carrera.

Al Ing. Ing. Qco Gericksson Harrys Devies Angulo por ser mi tutor, profesor, por todo el apoyo brindado en lo profesional, por darme ánimos y enseñarme siempre cosas diferentes.

A mis amigos que siempre son un apoyo constante en el transcurso de esta carrera gracias a todos ustedes. Esos amigos que en el camino se sumaron, gracias por brindarme su ayuda para cumplir con este proyecto nunca los olvidare.

**Ismarys**



## ÍNDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS.....	11
LISTA DE FIGURAS.....	12
RESUMEN .....	15
INTRODUCCIÓN .....	16
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	23
<b>CAPÍTULO II: MARCO CONTEXTUAL.....</b>	<b>24</b>
ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
MARCO TEÓRICO.....	26
SISTEMA DE VARIABLES .....	57
NORMATIVA Y ASPECTOS LEGALES .....	59
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>63</b>
TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	63
METODOLOGÍA.....	66
TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES APLICADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	69
GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	72
<b>CAPÍTULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
CARACTERIZAR LOS EFLUENTES INDUSTRIALES PETROLEROS CON ENFOQUE A LA BIOLAGUNAS.....	74
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>115</b>
CONCLUSIONES.....	115

RECOMENDACIONES .....	117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	118

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla II-1.</b> Mapa de Variables.....	58
<b>Tabla IV-2.</b> Parámetros físico-químicos del agua. Entrada de bioagunas....	74
<b>Tabla IV-3.</b> Parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Entrada de la biolaguna en P1.....	75
<b>Tabla IV-4.</b> Continuación parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Entrada de la biolaguna en P1.....	76
<b>Tabla IV-5.</b> Continuación parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Entrada de la biolaguna en P1.....	77
<b>Tabla IV-6.</b> Continuación parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Entrada de la biolaguna en P1.....	78
<b>Tabla IV-7.</b> Características de absorción del medio filtrante. ....	86
<b>Tabla IV-8.</b> Características del medio filtrante. ....	87
<b>Tabla IV-9.</b> Composición física del medio filtrante. ....	88
<b>Tabla IV-10.</b> Parámetros Físico-Químicos Límites máximos .....	89
<b>Tabla IV-11.</b> Continuación de los Parámetros Físico-Químicos Límites máximos .....	90
<b>Tabla IV-12.</b> Continuación de los Parámetros Físico-Químicos Límites máximos .....	91
<b>Tabla IV-13.</b> Materiales. ....	93
<b>Tabla IV-14.</b> Composición del fluido en masa.....	99
<b>Tabla IV-15.</b> Balance Global.....	104
<b>Tabla IV-16.</b> Balance en componente.....	105
<b>Tabla IV-17.</b> Continuación balance en componente. ....	106
<b>Tabla IV-18.</b> Área disponible. ....	107
<b>Tabla IV-19.</b> Capacidad de tratamiento. ....	108
<b>Tabla IV-20.</b> Capacidad de tratamiento. ....	108

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura II-1.</b> Componentes de un sistema de producción de hidrocarburos ..	31
<b>Figura II-2.</b> Diagrama de procesos, Estación de Flujo Sinco D. ....	35
<b>Figura II-3.</b> Diagrama de procesos, Estación de Flujo Silván. ....	37
<b>Figura II-4.</b> Diagrama de procesos, Estación de Flujo Mingo. ....	38
<b>Figura II-5.</b> Proceso de fitorremediación. ....	39
<b>Figura II-6</b> Biorremediación.....	41
<b>Figura II-7.</b> Morfología de una Macrófita flotante ( <i>Eichhornia crassipes</i> ). ....	44
<b>Figura II-8.</b> <i>Eichhornia crassipes</i> .....	45
<b>Figura II-9</b> Lechuga de agua. ....	45
<b>Figura II-10</b> Lenteja de agua. ....	46
<b>Figura II-11</b> Vista lateral del diseño de un Biofiltro. ....	49
<b>Figura II-12</b> Humedales flotantes. ....	53
<b>Figura II-13</b> Humedales de flujo horizontal superficial. ....	54
<b>Figura II-14</b> Humedales de flujo sub-superficial. ....	56
<b>Figura III-15</b> Diagrama de flujo, táctica realizada para el desarrollo de la investigación.....	68
<b>Figura IV-16.</b> Entrada y Salida de la corriente de fluido al pasar por el biofiltro medio filtrante N°1 <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	95
<b>Figura IV-17.</b> Continuación del Medio filtrante N°1, salida del fluido al pasar por el biofiltro. ....	95
<b>Figura IV-18.</b> Entrada y Salida de la corriente de fluido al pasar por el biofiltro medio filtrante N°2 ( <i>Pistia Stratiotes</i> ). ....	96
<b>Figura IV-19.</b> Continuación del Medio filtrante N°2, salida del fluido al pasar por el biofiltro. ....	96
<b>Figura IV-20.</b> Cálculo global del área del biofiltro. ....	97
<b>Figura IV-21.</b> Proceso de biofiltración. ....	99
<b>Figura IV-22.</b> Ficha técnica del equipo. ....	110
<b>Figura IV-23.</b> Vista plana.....	111
<b>Figura IV-24.</b> Vista inferior. ....	111

<b>Figura IV-25.</b> Vista frontal. ....	112
<b>Figura IV-26.</b> Vista posterior. ....	112
<b>Figura IV-27.</b> Vista izquierda. ....	113
<b>Figura IV-28.</b> Vista isométrica. ....	113
<b>Figura IV-29.</b> Vista plana. ....	114
<b>Figura IV-30.</b> Vista izquierda. ....	114
<b>Figura V-31.</b> longitud de las raíces (Bora). ....	128
<b>Figura V-32</b> (Bora). ....	128
<b>Figura V-33.</b> peso húmedo de la planta (Bora). ....	129
<b>Figura V-34.</b> longitud de las raíces (Bora). ....	129
<b>Figura V-35.</b> peso húmedo de la planta (Repollito de agua). ....	130
<b>Figura V-36.</b> longitud de las raíces (Repollito de agua). ....	130
<b>Figura V-37.</b> (Repollito de agua). ....	131
<b>Figura V-38.</b> Recolección de datos, instrumento 1. ....	132
<b>Figura V-39.</b> Recolección de datos, instrumento 3. ....	132
<b>Figura V-40.</b> Entrevista, instrumento 2. ....	133
<b>Figura V-41.</b> Simulación, Instrumento 4. ....	134

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**AyS:** Agua y sedimentos.

**API:** American Petroleum Institute.

**°API:** Gravedad API del petróleo.

**BLS:** Barriles de petróleo.

**BBL:** Barril de petróleo.

**BFPD:** Barriles de fluido producido por día.

**BNPD:** Barriles netos producidos por día

**BA/BN:** Barriles de agua entre barriles de crudo.

**DBO:** Demanda bioquímica de oxígeno.

**DQO:** Demanda química de oxígeno.

**EF:** Estación de flujo.

**Mg/L:** Miligramos entre litros.

**ML:** Mililitros.

**PVC:** policloro de vinilo (plástico).

**TSS:** Total de solidos suspendidos.



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL  
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"  
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL  
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA  
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**DISEÑO PRELIMINAR DE UN PROTOTIPO DE BIOFILTRO FLOTANTE  
PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN LAS ESTACIONES DE  
FLUJO BARINAS, 2019.**

**AUTOR:** Ismarys González

C.I: 26.468.006

**RESUMEN**

La alta producción de efluentes en el distrito Barinas División Boyacá se debe a acuíferos activos, los cuales general altos cortes de AyS de 95%; estos son separados en las diversas estaciones de flujo pero a raíz de la situación que está atravesando dichas instalaciones, el tratamiento no es adecuado, creando consigo daños colaterales debido a los componentes que posee, como metales pesados, fenoles, sólidos disueltos, pH, compuestos aromáticos, entre otros. Debido a esto se presenta como alternativa un diseño preliminar de prototipo de biofiltro que emplea el proceso de fitorremediación a través de macrófitas acuáticas; en este trabajo se realizó a través de modelo experimenta el cual permitió desarrollar un archivo de datos acerca de la remoción de las Pistia stratiotes & Eichhornia crassipes y los cálculos pertinentes que ayudaron a dimensionar el equipo desarrollar los planos de la estructura, al mismo tiempo se observaron las características físicas de los medios filtrantes durante un período d 4 a 7 días.

**Palaras claves:** Pistia stratiotes, Eichhornia crassipes, metales pesados, fenoles, solidos disueltos, pH, compuestos aromáticos, Fitorremediación, Biofiltro.

**Correo:** ismarysdelcarmeng@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

La producción de crudo es el conjunto de procesos que permiten la extracción, purificación, almacenamiento y transporte del petróleo previo a su comercialización y refinación; en ellos no solamente se obtiene el preciado hidrocarburo sino también agua y sedimentos (minerales y compuestos orgánicos) provenientes del yacimiento productor. En Venezuela la empresa encargada de la industria petrolera es Petróleos de Venezuela S.A, conocida como PDVSA por sus siglas en español. Esta empresa es propiedad del Estado Venezolano y se encuentra estructurada en Divisiones que cubren toda la geografía nacional. En los estados Apure, Barinas y Guárico la actividad petrolera se encuentra en manos de PDVSA División Boyacá.

Como muestra de lo indicado se conoce que el conjunto, Barinas-Apure tienen una producción diaria alrededor de 21.209 BNPD de crudo, relacionada a un total de fluidos de 445.085 BFPD, lo cual implica un corte de agua y sedimentos promedio de 95 % AyS, (Camacho y Escalante, 2018); por consiguiente la producción que generan los pozos es enviada a estaciones de flujo, donde son empleadas diferentes alternativas para la separación, permitiendo de esta manera obtener el crudo con 0,5% de AyS.

El agua resultante no se encuentra apta para ninguna actividad posterior, es decir, no es potable ni puede ser empleada siquiera para reprocesos de la misma industria por la cantidad de sustancias químicas disueltas en ella, por tal motivo debe realizársele un tratamiento adecuado que permita su uso posterior. En el caso de ser desechadas al ambiente, debe cumplir con las especificaciones planteadas en la legislación venezolana, específicamente en el Artículo 10 del decreto 883, el cual establece los rangos que determinan la calidad del agua y su uso.

El proceso de tratamiento del agua es complejo y de alto costo (Arnold y Col), por eso en la actualidad PDVSA, las Universidades venezolanas y los



institutos de investigaciones científicas llevan a cabo diferentes investigaciones para realizar el tratamiento adecuado a dichas aguas y evitar los efectos contaminantes en el ecosistema. Una alternativa es la presentada en este trabajo centrada en el desarrollo de una tecnología basada en los procesos naturales de fitorremediación, ya que permite atrapar elementos tóxicos y contaminantes en la corriente de aguas producidas, empleando para ello especies vegetales.

Dada las condiciones que anteceden, se plantea desarrollar un diseño preliminar de un prototipo de biofiltro implementando el proceso de fitorremediación a través de la integración de varios tipos de especies vegetales, las cuales se pueden adaptar a diferentes condiciones, permitiendo de este modo que sean incorporadas como medio filtrante, por lo tanto, es importante tener en cuenta las condiciones a las que se verá expuesta, como lo es la temperatura, movilidad del líquido, cantidad de fluido que maneja y sus características.

Con referencia a lo anterior mencionado, el estudio se basa en el tratamiento de los efluentes que llegan a las estaciones de flujo del distrito Barinas a través del filtro; para realizar el diseño preliminar del prototipo del biofiltro flotantes se necesita manejar datos reales de las características de los fluidos, los cuales fueron suministrados por la estación de flujo Sinco D, permitiendo el desarrollo del Trabajo Especial de Grado, generando como resultado la estructuración del trabajo, el cual se encuentra dividido en cinco (IV) capítulos, donde se describe y ejecutan los procedimientos que permiten llegar al cumplimiento de los objetivos deseados; la distribución se encuentra formada de la manera siguiente:

En el capítulo I se encuentra el planteamiento del problema, el cual le da comienzo a la creación de la presente investigación de biotecnología de la biofiltración; generando de esta manera la creación de los objetivos

generales y específicos, los que permiten la justificación del trabajo y el enfoque del proyecto a través de los alcances, delimitaciones y limitaciones.

En el capítulo II se presenta el área donde se enfocó el desarrollo de la tecnología de biofiltración; al mismo tiempo se plantean los antecedentes de estudio, el cual converge con el mapa de variables; permitiendo creación del marco teórico, donde se describe los aspectos más relevante para la investigación. Sin embargo también se encuentra plasmado el sistema de variables y las normativas legales.

El capítulo III, está definido por el marco metodológico donde se describe el tipo de investigación y el proceso del cumplimiento de los parámetros de operación empleados para llevar a cabo el desarrollo de los objetivos específicos a través de las diferentes técnicas y/o materiales utilizadas. Al mismo tiempo, se encuentra la población y muestra manejadas.

En el capítulo IV se encuentra establecidos los resultados de los objetivos, obtenidos mediante las técnicas e instrumentos aplicados.

Por añadidura se encuentra el capítulo V en él se establece las conclusiones y recomendaciones que permite el surgimiento de nuevas ideas.

# CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

---

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente los principales problemas de contaminación ambiental que se presentan a nivel mundial son causados por la explotación, producción, transporte, almacenamiento y comercialización del petróleo y sus derivados. Cabe destacar que las complejas características que presentan estos compuestos los han clasificado como contaminación primaria (USEPA, 2001), ya que afectan en gran medida los recursos naturales (agua, suelo, flora y fauna).

En relación con la producción de petróleo, generalmente se produce agua asociada a la extracción, que debe ser separada del crudo y recibir un tratamiento (principalmente químico), para posteriormente ser vertida al ambiente (cuerpos de agua), cuando las características fisicoquímicas y biológicas se encuentren dentro del rango establecido normativas legales de la nación. Por tal razón, las empresas a nivel mundial realizan procedimientos para asegurar la calidad del agua en las estaciones de flujo, especialmente en las biolagunas, donde se reducen las impurezas presentes en dichos fluidos.

En PDVSA División Boyacá, Distrito Barinas se cuenta con tres estaciones de flujo: “Mingo” (conformada por los campos Páez y Mingo), “Silván” encargada de recibir la producción de los pozos activos de los campos Bejucal, Borburata, Caipe, Maporal, Obispo, Palmita, Silván y Torunos, finalmente “Sinco D” (recibe la corriente de fluido de los campos Área 16, campo Hato, campo Silván y 5D); esta última se encarga de realizar el tratamiento de las aguas producidas que entran a la estación, la cual se caracteriza por presentar un alto contenido de sales, fenoles, compuestos aromáticos, sólidos, pH, entre otros; por consiguiente, debe tener un especial tratamiento para la eliminación de dichos elementos y cumpla con las

especificaciones planteadas por las leyes ambientales. No obstante, la instalación recibe agua de la estación de flujo Mingo, la cual es descargada en las Biolagunas.

Cabe señalar que la estación de flujo Sinco D es escogida debido a que se tiene la disposición de los datos sobre las características de los efluentes e información del estado de la instalación; lo que permitió saber que el tratamiento del agua no es el adecuado, ya que la actual situación que presenta el país ha dificultado la adquisición de productos químicos y los equipos que posee no están en total funcionamiento, por razones como la falta de mantenimiento o el por deterioro de piezas mecánicas, las cuales no pueden ser adquiridas en el mercado para su reemplazo, resultando que en muchas ocasiones se vierta el agua al ecosistema sin cumplir con el tratamiento estipulado; esto amerita que se desarrollen nuevas formas para el tratamiento del agua en dicha estación, diferentes a las convencionales o que normalmente se implementan; en esta orden de ideas, se presenta la fitorremediación como una tecnología ecológica, económica, estable y biodegradable con resultados prometedores para el tratamiento de efluentes y de otros recursos naturales (Reyes J., 2016), además se sabe que esta técnica ha sido implementada en las laguna Silvestre B del Distrito Barinas, (Gudiño, G. 2016).

La fitorremediación es una alternativa para el tratamiento de las aguas en la estación de flujo Sinco D; sin embargo, para la presente investigación, se parte de la idea de establecer el diseño preliminar de un prototipo de biofiltro flotante, con lo que se espera dar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del efluente de la biolaguna ubicada en la estación flujo en estudio? ¿En qué medida las plantas autóctonas de Barinas pueden ser usadas como medio filtrante?, ¿Cuál sería la estructura más adecuada que permita la implementación de la

fitorremediación?, ¿Cómo puede diseñarse un biofiltro flotante coherente con las condiciones operacionales de las estaciones de flujo?

## OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un diseño preliminar de biofiltro flotante a escala de prototipo basado en los principios de fitorremediación para el tratamiento de las aguas producidas en la estación de flujo Sinco D.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar los efluentes industriales petroleros con enfoque a la biolagunas.
- Analizar el proceso de fitorremediación como técnica de tratamiento efluentes industriales petroleros
- Establecer los principios de diseño de un biofiltro a partir del empleo de especies vegetales autóctonas del Estado Barinas.
- Dimensionar el prototipo de biofiltro flotante según las condiciones presentes en la biolaguna de la estación de flujo Sinco D.

## JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se encuentra argumentada por los aspectos: técnicos, económicos, ambientales y sociales, dado que brinda oportunidades para el tratamiento del agua producida, contribuyendo a cumplir con las medidas ambientales establecidas, logrando disminuir la contaminación ambiental y preservar la vida. A continuación se describe la forma en que el presente trabajo influye en los diferentes aspectos anteriormente mencionados.

En el ámbito técnico, un biofiltro es un equipo empleado para “atrapar” sustancias no deseadas de una corriente o flujo de agua, que emplea unas especies vegetales fitorremediadoras que actúan como medio filtrante, por

consiguiente, se basa en su capacidad de remoción de elementos contaminantes a través del rizoma, al mismo tiempo, ayuda mantener estables a dichas plantas para que puedan realizar el proceso de remover los elementos tóxicos presentes en las aguas producidas; es por ello, que se debe realizar un diseño que sea adecuado para permitir el soporte de plantas y un contacto óptimo con el agua a tratar.

En el aspecto económico, la fitorremediación representa una técnica alternativa para el tratamiento del agua de formación, por lo cual, permite la reducción de gastos en productos químicos que, en muchas ocasiones, son importados y elevan el costo del tratamiento pertinente que requieren las aguas. De igual manera, la construcción del biofiltro es sencilla, es decir que no requiere materiales especiales para su construcción, también cabe mencionar, que el medio filtrante es una especie vegetal y su obtención no genera costo, debido a que se encuentra en todo el territorio; permitiendo de esta manera la reducción de los gastos económicos en la elaboración del biofiltro.

En lo ambiental, el diseño adecuado de un biofiltro permite tener una mayor eficiencia en el proceso de limpieza del agua mediante la fitorremediación, en consecuencia, el agua despachada desde la estación de flujo tendrá una menor cantidad de agentes contaminantes y, a su vez, el impacto ambiental se verá reducido. Finalmente, en el ámbito social, en la salida de la biolaguna el agua realiza un recorrido hasta llegar al caño Morrocoy, donde las personas dependen de dicho afluentes para realizar sus labores diarias e igualmente llega a afectar la biodiversidad de las especies que viven en los alrededores. Asegurando que los afluentes no sean contaminados, se garantiza a las personas su fuente de agua natural y además, de disfrutar de un ambiente saludable.

## **ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1. ALCANCES**

La investigación tiene como trascendencia, desarrollar una propuesta técnica, económica y ambientalmente amigable para implementar la tecnología de fitorremediación a través de un equipo de construcción sencilla. El trabajo está vinculado a un macro proyecto coordinado por el tutor Gericksson Devies (UNELLEZ).

### **2. LIMITACIONES**

El trabajo planteado se desarrolló tomando en cuenta los siguientes elementos que se consideraron adversos para la investigación:

- Dada la novedad del tema, existe poca disponibilidad de datos en cuanto al empleo de las plantas como medio filtrante.
- Restricciones para el ingreso al área de las biolagunas para la toma de datos.

### **3. DELIMITACIONES**

El actual Trabajo Especial de Grado, se encarga de realizar el diseño preliminar del prototipo adecuado de un biofiltro flotante, esto quiere decir que no se llevara a cabo la construcción ni la prueba de filtrado en la estación de flujo Sinco D, sino que se presentan: memoria descriptiva, cálculos y planos del producto diseñado.

## CAPÍTULO II: MARCO CONTEXTUAL

---

### ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación está enfocada al área de aplicación de conocimiento, fundamentada en las necesidades presentadas por el Ministerio de Ciencias y Tecnología (2011); específicamente en el área Ambiente, subáreas: Calidad ambiental Metodologías y tecnologías para la calidad del ambiente), y Gestión Integral de Aguas (Conservación, calidad de aguas). En esta se plantea el desarrollo preliminar del prototipo de un biofiltro que servirá de apoyo en el tratamiento de efluentes en la estación de flujo Sinco – D, ubicada a 29 km al sureste de Barinas de la carretera nacional Barinas – San Silvestre, frente a la antigua refinería el «Toreño».

### ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Gudiño Greinellys (2016). Título: **“HUMEDALES ARTESANALES EN LAGUNAS SILVESTRE B PARA RECUPERACIÓN DE CRUDO UTILIZANDO MATERIALES DE RECICLAJE”** (informe de pasantía). Realizó humedales artesanales para la implementación de plantas Fitorremediadoras, obtenidas en los alrededores del Campo Silvestre, como una nueva tecnología ecológica para el manejo de efluentes. Del mismo modo, realizaron un seguimiento, luego de la incorporación de los humedales en la laguna, no obstante se le aplicaron análisis de muestra para determinar las características del crudo, donde se pudo obtener una recuperación del petróleo 32% a 400 ML de muestra de aguas residuales de la laguna Silvestre B. Este trabajo demostró que la fitorremediación funciona en las condiciones operacionales de las estaciones de flujo lo cual representa un soporte confiable para la presente investigación.



Sarango O. y Sánchez J. (2016), Título: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE 2 BIOFILTROS CON EICHHORNIA CRASSIPES Y LEMNA MINOR PARA LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE LA EXTRACTORA RÍO MANSO EXA S.A. “PLANTA LA COMUNA”, QUININDÉ”** (trabajo especial de grado), este estudio se encargó en el diseño y construcción de 2 biofiltros utilizando arena, gravilla, grava, piedra pómez y macrófitas, empleado de esta manera el proceso de fitorremediación para tratar aguas residuales provenientes de la extractora Río Manso; realizando caracterizaciones físicas, químicas y microbiológicas del agua, para determinar las concentraciones y porcentajes de remoción para parámetros como: Demanda química de oxígeno DQO, Demanda bioquímica de oxígeno DBO, Aceites y grasas, Sólidos totales, Sólidos suspendidos, Nitrógeno total, Hierro, Fósforo. Sirviendo de referencia en la selección de plantas Fito-remediadoras y al mismo tiempo demostrar la capacidad que tienen las especies vegetales para la remoción de elementos contaminantes.

Lara J. Martelo J., (2012), Título: **“MACRÓFITAS FLOTANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES; UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE”** (artículo científico). La información proporcionada proyecta una serie de alternativas de humedales para mejorar el tratamiento de las aguas residuales que involucran macrófitas, las mismas han demostrado ser eficaz en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias toxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo y mercurio. Es importante resaltar que la información suministrada, es elemental para la investigación que se viene desarrollando, ya que la misma genera marco contextual de especies vegetales que han venido ayudando en remover elementos contaminantes.

Torres J. (2009), Título: **“FITORREMIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR HIDROPONIA”** (Tesis), su método de trabajo fue eliminar metales,

nitratos y fosfatos de aguas residuales, usando plantas de *Menthapiperita* (menta), y *Helianthusannus* (girasol), mediante cultivos hidropónicos. Cabe destacar, que estas plantas resultan curativas para el tratamiento del agua, debido a que tienen biorremediación, que sirven en el proceso de remoción de elementos tóxicos de las aguas contaminadas, a través del uso de implantación de humedales superficiales. Esta investigación proporciona otro método de aplicación de la fitorremediación a través de la hidroponía

## **MARCO TEÓRICO**

A continuación se presenta la información teórica relacionada con el tema, la cual sirvió de base para extraer los elementos necesarios en el desarrollo de la propuesta del diseño preliminar del prototipo de biofiltro para el tratamiento de.

### **1. RECURSO HÍDRICO**

El agua dulce desde siempre se ha catalogado como un recurso finito, vital para todos los seres que habitan el planeta y para tener un desarrollo socio-económico favorable; sin embargo, hace pocas décadas, este recurso vital se empezó a preservar, debido a la escases que se ha presentado por los cambios ambientales y por ende su riesgo de disminución global de los afluentes de agua dulce, lo mismo ha llevado a tomar conciencia tanto a las entidades mundiales de protección ambiental, como a los países de todos los continentes.

La superficie de agua sobre el planeta supera abundantemente a la continental, donde más del 70% de esta pertenece a los océanos y mares; es importante resaltar que la abundancia de este recurso, puede que, a pesar de su abundancia no da la garantía que esta pueda llegar a ser usada para consumo humano, ya que aproximadamente el 97,5% de esta es de

características salinas, lo que deja tan solo un 2,5% de agua dulce útil para el consumo.

Del mismo modo, se trae a colación que el 79% de recurso hídrico se encuentra en forma de hielo permanente, en el polo norte y glaciares, por lo tanto no está disponible para consumo de todos los seres vivos, el otro 20% se encuentra en acuíferos con características de accesibilidad baja, la cual no permite del todo su aprovechamiento, esto nos deja con un restante de 1% de agua dulce superficial de fácil acceso. Esto representa el 0,025% del agua del planeta. (GREENPEACE, 2010).

Abordando este orden de ideas, Venezuela es el décimo primer país en el mundo de contar con la mayor producción de agua dulce. Al menos así lo afirma el Sistema de Información Global en Agua y Agricultura de la FAO, al indicar que Venezuela produce 1.233 kilómetros cúbicos de agua por año ( $\text{Km}^3/\text{Año}$ ). Por otro lado, los recursos hídricos se encuentran en el eje de Apure y Orinoco, incluyendo los ríos más caudalosos del país como el Aro, el Caura y el Caroní.

Además del agua dulce presente en los ríos, Venezuela posee recursos hídricos subterráneos los cuales son poco empleados (hasta ahora en la región llanera son empleados como suministro de agua potable localizada en pequeños acueductos comunitarios). Pero cabe señalar, que la extracción de las aguas subterráneas es muy poco practicada, los acuíferos están representados en unos 829.000  $\text{km}^2$  de extensión. Las aguas superficiales se pueden dividir en seis (06) cuencas principales, que representa a las vertientes marinas del Caribe y Atlántica, los cuales son los ríos Orinoco y Cuyuní (vertiente Atlántica), río Negro (vertiente Amazonas), Lago de Maracaibo y Mar Caribe (vertiente Caribe) y la cuenca endorreica del Lago Valencia.

La escases del agua se ha venido generando por el mal uso que se le ha

dado a través de los tiempos, otros factores que contribuyen a dicha escases son; los procesos climáticos y las alteraciones contaminantes derivadas de las actividades del hombre, logrando así reducir el recurso hídrico, que se encuentra en la parte superficial. Existe una alternativa para que estas aguas puedan ser tratadas, lo cual ocasionaría un gran gasto económico (Viana, J.). En Venezuela la mayoría de las plantas de tratamiento de agua no cuentan con la capacidad para realizar este procedimiento, debido a que los equipos están en mal estado y por consecuencia el vertido de las aguas no están lo suficientemente tratadas. Por lo tanto, se ven perjudicados ciertos sectores de nuestro país, ya que no se logra extraer suficiente líquido, así exista acuíferos subterráneos en el territorio, no abarcaría la demanda de los pobladores.

## **2. CONTAMINACION AMBIENTAL**

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro planeta, es una problemática que ha surgido con el transcurso de los tiempos, debido a los diferentes procesos productivos del hombre que conforman las actividades de la vida diaria; a medida que va evolucionando la especie humana, el ecosistema se ve obligado a tener alteraciones, lo que afecta gravemente a la calidad de vida de todos los seres vivos. La contaminación ambiental surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente. El hombre hasta los momentos no ha tomado las medidas necesarias para preservar, cuidar y proteger el ecosistema.

Por otro lado, la integración de un agente extraño (contaminante) causa irregularidades en el medio, debido a que puede generar contraindicaciones perjudiciales a los seres vivos, es decir, que cualquier elemento tóxico deteriora el entorno, creando consigo enfermedades y en algunos casos la muerte.

## 2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Este tipo de contaminación tiene sus inicios desde la población del hombre, el mayor impacto causado por el hombre es la contaminación del recurso hídrico. En Venezuela la población para el año 2015 es de 32.557.561, de los cuales han implementado un desarrollo económico en base a la producción del petróleo. El cual, es el mayor contaminante en las aguas superficiales y subterráneas. Debido a que el hidrocarburo tiene compuesto que no permite que sea biodegradable.

Pero a pesar de que las aguas estén en contacto con el crudo, pueden tener un tratamiento adecuado, pero por la falta de tecnología no se le ha realizado el procedimiento conveniente para mejorar las condiciones del afluente, logrando que sean vertidas al ecosistema con características que sean óptimas para el consumo de los seres vivos. Cabe destacar que, "La contaminación por petróleo en las aguas, provoca una película impermeable que afecta rápidamente a la fauna marina, en especial a los mamíferos y aves. Pero también impide el intercambio gaseoso y el pasaje de la luz solar, elementos que emplea el fitoplancton en la fotosíntesis" (Álvaro González).

Otro método contaminante del agua se produce por parte de las aguas servidas de origen doméstico, también se les denomina como aguas residuales, fecales, cloacales o negras, debido a su coloración.

"En Venezuela alrededor de 75% de las aguas servidas no son tratadas, lo cual genera un problema importante de contaminación en los suelos y las fuentes de agua, además del desperdicio que se ocasiona de este vital recurso que pudiera reutilizarse para otros fines. Los contaminantes que contienen las aguas residuales son diversos, y en su mayoría demandan oxígeno, pues incluyen a agentes bacterianos a menudo son infecciosos, lo cual favorece el desarrollo de otros organismos.

Asimismo, contienen elementos tóxicos que producen impactos negativos en el ambiente y en todos los seres vivos.” (Diego Díaz Martín, 2017).

### **3. HIDROCARBURO**

De acuerdo a (Paris 2010), los componentes principales del petróleo son el carbono (C), y el hidrogeno (H); además, posee un grupo contaminante llamado “grupo NSO”, por el nitrógeno (N), azufre (S), y oxigeno (O). Aunque la composición del crudo es elementalmente simple, son muchas las formas en que los átomos se pueden combinar para formar diferentes estructuras, siendo las de mayor importancia el grupo formado por las parafinas, los naftenos, aromáticos, las resinas y asfáltenos.

Estos compuestos presentan características físico-químicas debido a su estructura molecular y al número de átomos que los conforman; según los grados API (densidad del crudo) que poseen, son clasificados y tienen un aspecto característico, algunos de ellos son claros y oscuros, de igual modo son; livianos, medianos, pesados o extra-pesados (United States Department of Health and Human Services, 1999, citados cubillos, J 2011).

Del mismo modo, los hidrocarburos se subdividen en tres grupos: cíclicos, cíclicos saturados, y los hidrocarburos cíclicos no saturados más conocidos como hidrocarburos aromáticos (Chow, 1997 citados cubillos, J 2011), destacando su base estructural que es el anillo bencénico como el BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno, monoaromatico) o los PAHS (naftaleno, fenantreno y antraceno, poliaromaticos) (Universidad de Antofagatas, 2005 citados cubillos, J 2011).

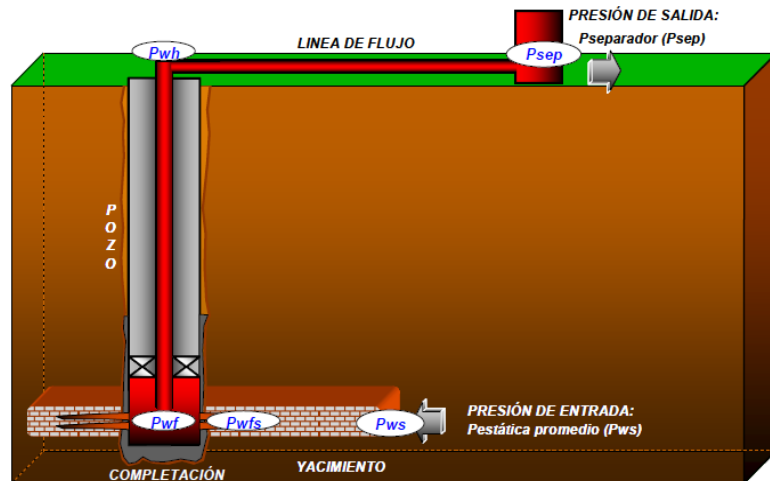
Siguiendo este orden de ideas, los derivados del petróleo están comprendidos por compuestos parafinicos, naftalénicos y aromáticos, los cuales a pesar de su alto peso molecular, cuenta con alto porcentaje de

absorción y son fácilmente degradados y mineralizados bajo condiciones aerobias (Imfeld, et al., 2009 citados cubillos, J 2011). Además, se obtienen diversos compuestos como; gasolina, keroseno, aceites combustibles, parafinas, asfáltenos, entre otros. Los cuales son muy utilizados en procesos industriales, domésticos, agrícolas, transporte. Del mismo modo, así como es útil, genera aportes contaminantes al agua, aire y suelos.

#### 4. SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Es el transcurso de conexión del yacimiento-pozo, por donde se realiza el recorrido del fluido durante la producción, dicho procedimiento está constituido por el yacimiento, completación, pozo y línea de flujo. Por tanto, la figura 1 demuestra el desplazamiento del hidrocarburo, el cual inicia en el radio de drenaje del yacimiento con una presión, movilizándose por el medio poros hasta llegar a la completación, entrando en el pozo luego viaja por las líneas de flujo superficiales hasta llegar a la estación de flujo con una presión menor, esto se genera por las pérdidas de energía durante el recorrido.

**Figura II-1.** Componentes de un sistema de producción de hidrocarburos



Fuente: Ing. Maggiolo, R. (2008).

## 5. AGUAS PRODUCIDAS

La producción de hidrocarburos por lo general siempre está presente con un corte de agua, es decir, que cuando el yacimiento va siendo explotado las tasas de producción van cambiando, generando de esta manera diferentes cortes de agua y crudo. El problema con este recurso hídrico se genera por estar relacionado con el petróleo-gas y al mismo tiempo ha tenido varios contactos con las formaciones rocosas, ocurriendo que se han disuelto los compuestos.

Por otro lado, los análisis de las aguas producidas son llevados a cabo en laboratorio, sin embargo las propiedades de mayor preocupación como pH, temperatura, contenido de gas disuelto, suelen alterarse al llegar al laboratorio, por ende las mejores pruebas se obtienen en el campo. Los componentes normales que se miden en el laboratorio son: cationes (calcio, magnesio, sodio, hierro, bario, radio) son todos los iones con cargas positivas en el agua, que genera el proceso de salinidad y dureza, Aniones (cloruro, carbonato, bicarbonato, sulfato) son iones con carga negativa presentes en el agua, que afectan en gran medida la salinidad, y otras propiedades (pH, peso específico, contenido bacteriano, contenido de petróleo) (Mancilla, R, 2012).

Cabe destacar, que todos los componentes afectan significativamente la calidez del agua.

- Contenido de sólidos disueltos: mayormente la producción del crudo siempre se encuentra asociados a arcillas o arena, y los sólidos son el resultado de un incremento elevado de temperatura generando una evaporación. Los sólidos suspendidos se caracterizan por tener un diámetro de 10 a 100 micras.



- Temperatura: verter el agua al ambiente con elevada temperatura afecta a la flora y la fauna en los cuerpos de agua, debido a esto se debe tener en cuenta la temperatura para poder liberar el agua al ecosistema.
- Materia flotante: son compuestos de crudo que liberan una gama de colores en el agua, generando una película delgada de aceite, este crudo puede ser extraído mediante las tanquillas API para evitar un derrame de efluente.
- Metales (Bario, Cadmio, Cromo, Plomo, Mercurio): estos metales se encuentran en pequeñas cantidades en el agua producida, sin embargo todos estos materiales son tóxicos, así la cantidad sea mínima, los cuales afectan al ser humano, dicho de otra forma, el agua debe estar libre de cualquier material pesado antes de liberarse al ambiente.

“El agua de producción es un problema tanto en el proceso de extracción de los líquidos, sino también en el proceso de limpieza de dicho recurso, debido a sus contaminantes y sus altos volúmenes que se obtienen, por esta razón conocer y analizar cada una de las propiedades del agua debe ser una prioridad, para convertir esta problemática en una fuente de solución que generalizaría una demanda para el aprovechamiento y la de utilidad en estos recursos hídricos” (Pulido, C. et. 2015).

## **6 ESTACIONES DE FLUJO**

### **6.1 Estación de flujo Sinco D**

La estación de flujo Sinco D maneja un fluido de 158.967 BFPD, generando un corte de agua de un 95% y de crudo 5%. Por lo cual, realiza

diferente función para la separación del crudo, agua y gas, en el que cada fluido debe cumplir con una serie de indicaciones para obtener el mejor aprovechamiento de dichos productos. Por lo tanto, la estación cuenta con un tren de separadores verticales trifásicos y dos horizontales, que son equipos utilizados para separar las corrientes de los fluidos que provienen de diferentes pozos de los campos Área 16, campo Hato, campo Silvestre y 5D. Una vez separado el crudo del gas, este se dirige a los tanques de lavado, mientras que el gas se dirige a la planta de condensado.

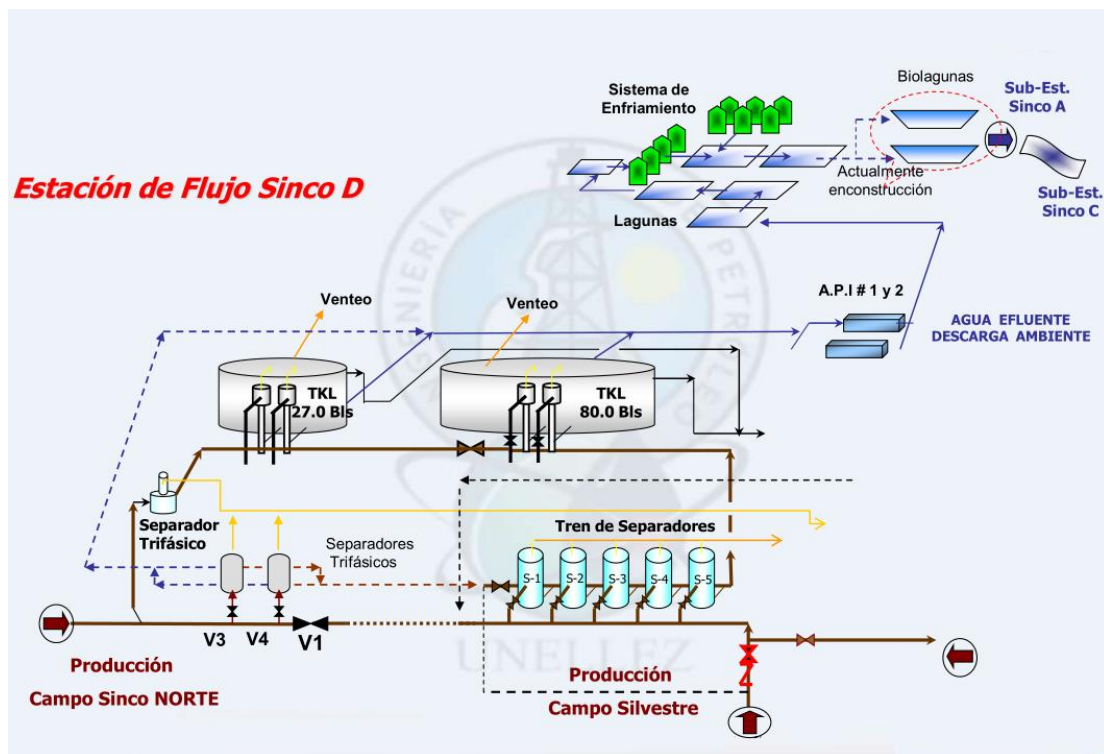
Al mismo tiempo, la estación posee dos tanques de lavado que están compuestos internamente por buflex o ventanas, que permite cambiar el flujo turbulento a laminar, en dichos tanques se realiza la separación agua crudo con productos químicos para realizar el proceso más rápido. Una vez realizada la separación agua-crudo, el petróleo se envía a los tanques de almacenamiento, mientras que el agua pasa a las tanquillas API que son para el tratado del agua, donde el petróleo es separado por reboso y es llevado a una tanquilla más pequeña y se incorpora a la línea de producción.

Actualmente la inversión para el tratamiento de las aguas producidas es de un costo elevado, debido a la inflación económica que atraviesa el país y por tal motivo el proceso de limpieza del agua es muy difícil, ya que, a pesar que la estación consta con 10 lagunas de enfriamiento o de oxidación, donde el agua aceitosa o con petróleo se somete a un proceso de enfriamiento o reducción de calor para separar las partículas de petróleo y posteriormente el agua de las lagunas pasa a los aspersores donde bajan 55-57°C.

Consecutivamente el agua pasa por unas torres de enfriamiento, el cual tiene una bomba centrífuga tipo aspa, en el que se retira el vapor y permite disminuir más la temperatura y a partir de aquí son enviadas a la biolaguna, en donde se realiza el último procedimiento, implementando biomasas para el tratamiento de fenoles.

Sin embargo, el tratamiento que se le aplica no es suficiente, porque estudios recientes realizados por estudiantes de la UNELLEZ, señalaron que ciertos equipos no se encontraban en total capacidad o funcionamiento, dicho de otra forma, la estación no está en las máximas condiciones para el tratamiento de las aguas producidas, por falta de recursos financieros. De este modo se plantean diferentes propuestas para mejorar el tratamiento del agua en la estación.

**Figura II-2.** Diagrama de procesos, Estación de Flujo Sinco D.



**Fuente:** PDVSA, estaciones de manejo y tratamiento de fluido, (2015) (Laya y Mejía 2018).

## 6.2 Estación de Flujo Silván

Recibe la producción de los pozos activos en los campos Bejucal, Borburata, Caipe, Maporal, Obispo, Palmita, Silván y Torunos; su ubicación se encuentra dentro del Municipio Barinas del Estado Barinas, a 24 Km. al

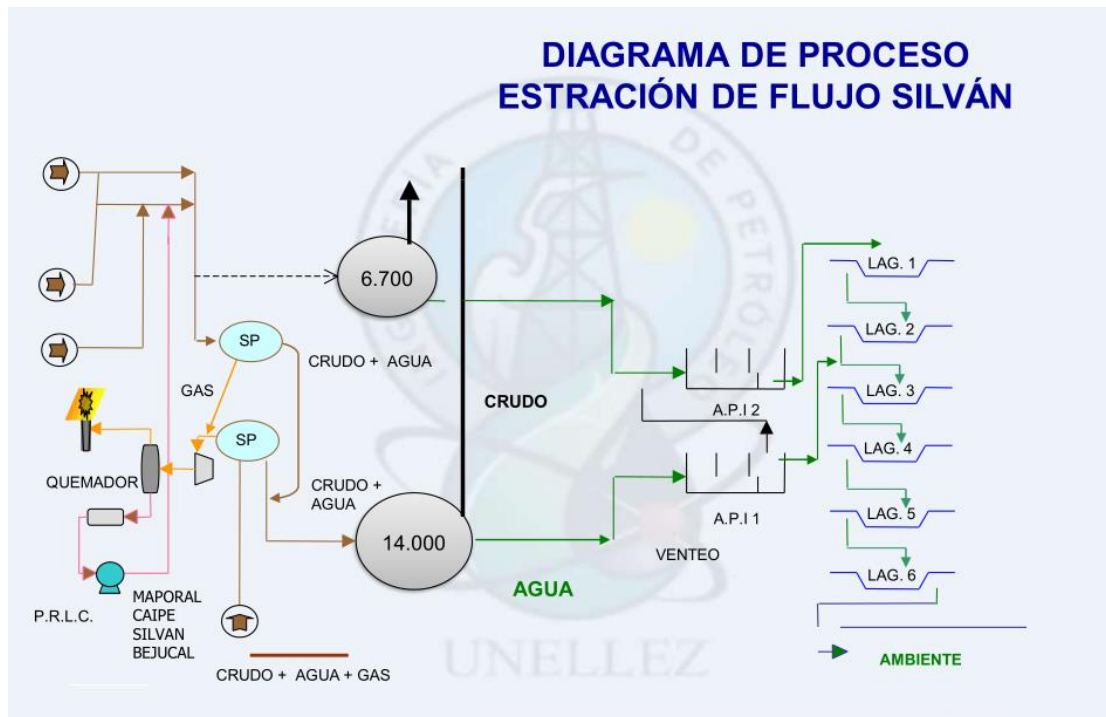
sureste de la ciudad de Barinas y a 5 Km. de la carretera Nacional Barinas – San Silvestre.

Según cierre Centinela de enero de 2018, la EF Silván cuenta con 29 pozos activos asociados a ella, recibe 44.076 BFPD, de los cuales se obtienen 4.908 BNPD, esto indica un corte de agua promedio de 89% y una razón de 8 BA/BN; su producción representa 44% del total obtenido en Barinas.

La estación Silván es la encargada de recibir, desgacificar, deshidratar, tratar, almacenar y de entregar a tiempo y dentro de especificaciones de la calidad, por lo cual consta con un aria de separación de corrientes de fluidos mediante separados verticales, del mismo modo posee dos tanques de lavado principales, uno de 14.000 BBL (TK-14), y otro de 6.700 BBL (TK-6,7), para almacenamiento cuenta con los tanques: TQ-5007, TQ-5008 y TQ-5009, además de un tanque de prueba de 1.500 BBL; desde diciembre de 2017 opera únicamente con el TK-14, para aumentar la temperatura de los fluidos que llegaban al TK-6,7 con la corriente de fluidos del TK-14.

Los históricos de producción operada y fiscalizada, señalan que la gravedad API del crudo bombeado desde la EF Silván se encuentra entre 27 y 29 °API y 0,2% de agua promedio, también cuenta sistema de tratamiento de efluentes, constituido por tanquillas API, compresores de aire, lagunas de enfriamiento, torres de enfriamiento, biolagunas, un KDO, un reactor químico y mechurrio.

**Figura II-3.** Diagrama de procesos, Estación de Flujo Silván.

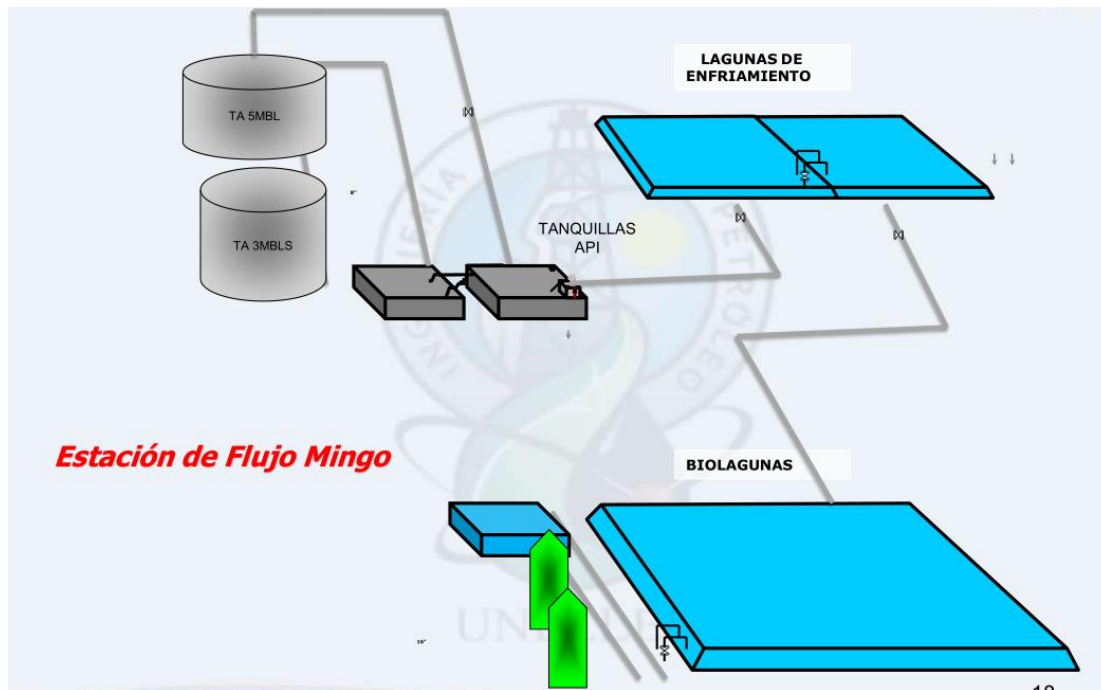


**Fuente:** PDVSA, estaciones de manejo y tratamiento de fluido, (2015).

### 6.3 Estación de flujo Mingo

La estación se encarga de cumplir en las siguientes áreas de almacenamiento, lavado, bombeado y tratamiento de efluentes. De este modo recibe fluidos para la separación de agua-crudo, a través del recorrido de la estación, por lo cual consta con tanque de lavado 40000BLS y 13000BLS, tanque de almacenamiento de 5000 BLS 13000BLS y un tanque de prueba de 1500BIS. Seguidamente el crudo es separado del agua, dicho efluentes es enviado hacia las tanquillas API, luego es bombeado hasta las lagunas de enfriamiento que se encarga de disminuir la temperatura del agua a través de aspersores, luego pasa hacia las torres de enfriamiento hasta llegar a las biolagunas. La estación no requiere de separadores gas-líquido, debido a que los campos que conforma a la misma (Páez y Mingo) presentan un índice insignificante de gases.

**Figura II-4.** Diagrama de procesos, Estación de Flujo Mingo.



**Fuente:** Laya K. Mejía J, (2018)

## 7 FITORREMEDIACIÓN

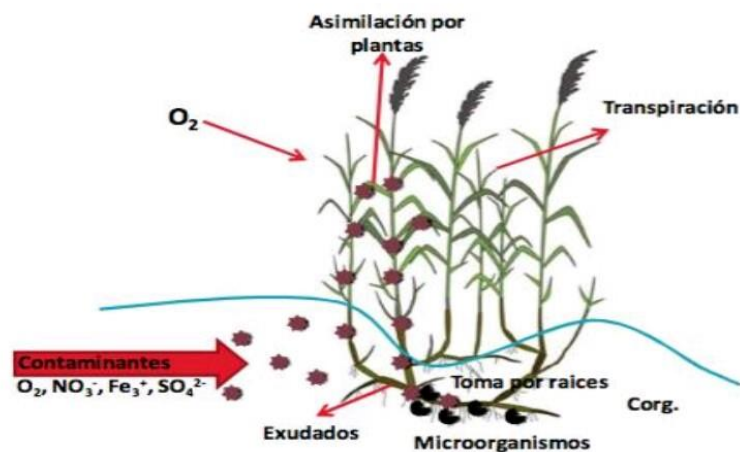
Se trata de una tecnología ecológica y sustentable a través del uso de plantas, donde el tratamiento in situ de la toma de contaminantes por parte sus raíces; permite que se acumulen los compuestos incorporándolos a sus tejidos. En este proceso las microfítas absorben y/o concentra los compuestos no deseados en sus partes cosechables, tejidos de hojas y tallo, principalmente cuando éste no es degradado rápidamente.

Es importante resaltar, que la fitorremediación comenzó a investigarse en la década de los 90, con el fin de implementarse para el tratamiento de las aguas contaminadas con hidrocarburos y la acumulación de materiales pesados (EPA, 2000 citado por Reyes), este estudio se plantió a través de biofiltros, los cuales brindan un mejor apoyo para realizar el proceso de estudio del medio contaminado. La fitorremediación se basa en la investigación de especies vegetales, las cuales se fundamentan en función

del proceso de remover, transformar, secuestrar o degradar contaminantes mediante la interacción de microorganismos que se encuentra en la rizófora, para una completa vinculación con las condiciones ambientales. (USEPA., 2000 citado por Cubillos, 2011).

De igual modo, se han empleado diferentes alternativas con la intención de reducir los efectos contaminantes en el agua, las cuales ayudan a restaurar las características principales del recurso hídrico. Este proceso se realiza con la implementando carbón activo, microorganismo, sustancias químicas; estos tratamientos son muy útiles, pero su costo es muy elevado, por esta razón, la implementación de la fitorremediación es una estrategia muy rentable para la ayuda del tratamiento del agua, ya que es un organismos vivo que tiene la capacidad de absorber elementos nocivos y/o nutrientes de los fluidos para su benefició, al mismo tiempo poseen ventajas estéticas, captación de gases de efecto invernadero, sostenible debido a que requiere de una fuente energética solar y tiene un gran aplicación debido a su biodiversidad bajo diferentes rangos contaminantes del ambiente (Guendy Ghobrieal, 2008 y Cubillos Vargas, 2011).

**Figura II-5.** Proceso de fitorremediación.



**Fuente:** Cubillos, J. 2011

La fitorremediación tiene una serie de procesos que realiza el tratamiento de las aguas y suelos, las cuales son:

- Fito-extracción o Fito-acumulación

Es el proceso mediante el cual las raíces absorben el contaminante y lo acumulan; para luego ir incorporándolo a sus tejidos hasta llegar a las hojas y tallos de las plantas. (Carpena y Bernal, 2007).

- Rizo-degradación

Es la toma del contaminante dentro de las raíces de las plantas, esto se genera por medio de la actividad microbiana asociado a la rizósfera, este proceso es favorable debido a las proteínas de los exudados del carbono, energía, nutrientes, azúcares, amino ácidos y otras condiciones que ayudan al crecimiento de los microorganismos.

- Fito-estabilización

Es el uso de las plantas para generar una reducción, en la biodisponibilidad de la contaminación en el entorno evitando el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio (Bonilla 2013). Este proceso es principalmente aplicado a contaminantes metálicos, debido a que debe estar inmóvil el compuesto, producto de su incompleta o difícil biodegradación.

- Fito-degradación o Fito-transformación

Es el proceso mediante el cual los compuestos contaminantes son transformados a moléculas más simples, debido a que a las enzimas y proteínas de las plantas van reaccionando químicamente, rompiendo las estructuras moleculares del medio contaminado y al mismo tiempo

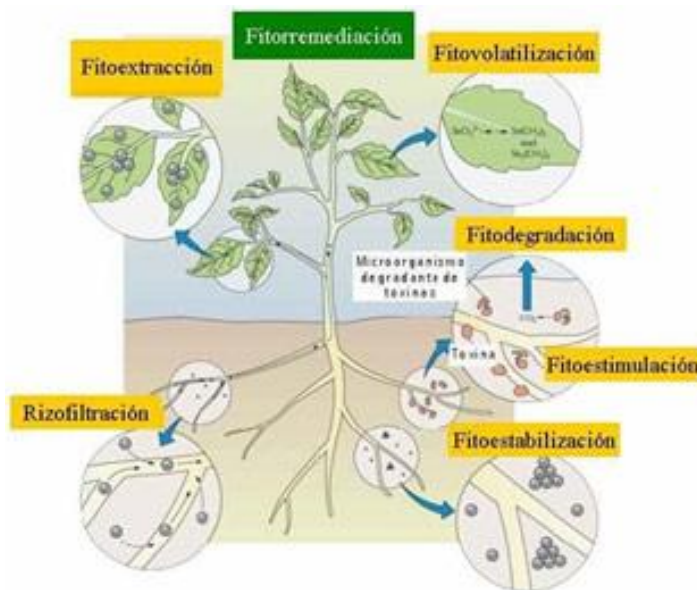


intervienen los microorganismos, permitiendo que se incorporen a los tejidos de las plantas, ayudando de esta manera el desarrollo de la especie vegetal. Por otro lado, la Fito-degradación se genera en tres fases: conversión (reacciones oxido-reducción, hidrolisis), conjugación (con azúcares y aminoácidos), en estas dos primeras fases los productos son conectados, alterando la solubilidad y la toxicidad del contaminante por parte de la planta, la última fase que es la incorporación a la planta (vacuola, pared celular), esta actúa una vez realizada la conjugación, los compuestos xenobióticos pueden ser removidos, siendo segregados dentro de las vacuolas (Dietz and Schnoor, 2001 y Kamath, n.d, citado por Cubillos, 2011).

- Fitovolatilización

La planta absorbe el contaminante y lo lleva hacia el estómago abierto de las hojas, permitiendo que se evapore y volatiliza, liberando el compuesto de manera modificada a la atmósfera. (USEPA, 1998).

**Figura II-6** Biorremediación



**Fuente:** García Z, (2009)

## 7.1 FASES DE LA FITORREMEDIACIÓN

Consiste en la implementación de especies vegetales fitorremediadoras, que permite remover contaminantes a través de diferentes fases: como absorción, excreción y desintoxicación de los contaminantes

- **ABSORCIÓN**

La absorción de contaminantes se realiza a través de las raíces y las hojas de las estomas y la cutícula de la epidermis” (Watt & Evans, 1999, pp. 323), esta absorción ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que absorben los compuestos por osmosis dependiendo de factores externos como la temperatura y el pH del suelo (Harvey et al., 2002,). Autores citados por (Bonilla 2013).

- **EXCRECIÓN**

“Los contaminantes que se absorben por las raíces, se excretan por medio de las hojas (Fitovolatilización). Cuando las concentraciones de los contaminantes son elevadas, solo pequeñas fracciones (menos del 5%) se excretan sin cambios en su estructura química” (Bonilla, 2013, p. 24).

- **DESINTOXICACIÓN DE CONTAMINANTES**

(Agudelo citado por Bonilla,2013), plantea que “la desintoxicación de los compuestos orgánicos se lleva a cabo a través de la mineralización hasta dióxido de carbono en el caso de contaminantes químicos orgánicos que se degradan; para altas concentraciones se utiliza la incineración controlada y desechan las cenizas en los lugares disponibles para este fin”.

Por lo cual, “las ventajas de la fitorremediación radican en que las plantas absorben los metales pesados y gran variedad de contaminación en sus raíces, evitando la contaminación de aguas subterráneas, mientras que la

desventaja radica en que el metal pesado utiliza el ciclo biológico de la planta, por tanto, la descontaminación toma tiempo”.

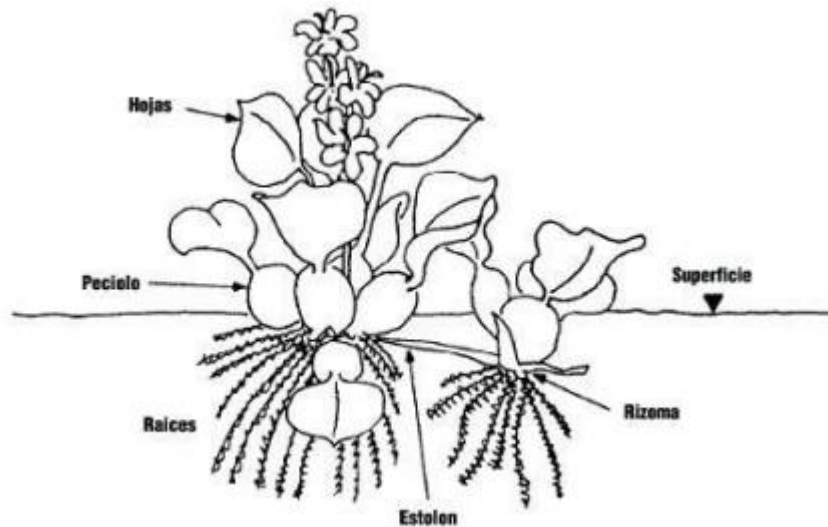
## **7.2 PLANTAS FITOREMEDIADORAS**

Son plantas que sus organismos han desarrollado mecanismos eficientes en su estructura, logrando transportar absorber, acumular, metabolizar o estabilizar contaminantes presentes en el agua, suelo, aire; estos pueden estar en bajas concentraciones y junto con el fluido son incorporados a las plantas a través de las raíces, el metal presente en el rizoma podrá trasladarse y su inmovilidad dependerá de la característica del elemento, del tipo y edad de planta en el momento de la exposición

Por tal sentido, las plantas fitorremediadoras denominadas macrófitas, se pueden encontrar de acuerdo a su forma o fijación:

1. Macrófitas fijas a un sustrato, las cuales están clasificadas en:
  - Macrófitas emergentes: son generalmente plantas perennes con órganos reproductores aéreos, que viven en suelos anegados de forma permanente o temporal.
  - Macrófitas de hojas flotantes: son principalmente angiospermas, sus órganos reproductores son flotantes o aéreos y viven sobre suelos anegados.
  - Macrófitas sumergidas: son en su mayoría tipo helechos, musgos, entre otros.
2. Macrófitas libres flotantes, aquellas que poseen formas diversas, raíces sumergidas, sus órganos reproductores son flotantes o aéreos pero muy raramente están sumergidos

**Figura II-7.** Morfología de una Macrófita flotante (*Eichhornia crassipes*).



**Fuente:** Martelo & Borrero, 2012.

Por otro lado, estas plantas también se pueden evidenciar fácilmente, debido a que algunas son de suelo otras de agua y al mismo tiempo se pueden encontrar con macrófitas adaptadas a estos dos entornos. Sin embargo esta tecnología de remediación verde busca dar un enfoque sostenible por su amplia aplicabilidad y bajos costos en relación con los tratamientos convencionales, así tenemos las plantas acuáticas como:

- *Eichhornia crassipes* (Bora o Jacinto de agua)

Son macrófitos flotantes, que alcanzan hasta un metro de altura, aunque normalmente no superan los 50 cm. Esta especie vegetal al implementar el tratamiento de las aguas producidas ayuda a remover, sólidos suspendidos, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, elementos traza, compuestos orgánicos de traza, microorganismos, metales pesados (plomo, cadmio, hierro, cobre), pesticidas, solventes, explosivos y petróleo crudo. Este proceso de remoción se realiza mediante la raíces de las biomásas sostenidas en ellas. Pero se debe considerar la temperatura del agua a tratar, ya que la planta solo puede soportar 20 a 34 °C.

**Figura II-8.** *Eichhornia crassipes*



**Fuente:** García, (M. 2008)

- *Pistia Stratiotes*

Es conocida comúnmente como lechuga o lochita de agua, esta planta acuática pertenece a la familia Aráceae y es de hojas gruesas redondeadas de color verde grisáceo, las cuales pueden llegar a tener un largo de 14 a 15 cm de longitud por 6 cm de ancho. Además, es utilizada para el tratamiento de las aguas, ya que, permite tener remoción de fosfato, amonio, nitrato, materiales pesados (plomo, cobre, zinc y cadmio).

**Figura II-9** Lechuga de agua.

**Fuente:** Ilustración del siglo XIX de *Pistia stratiotes*.

- Lemma Minor

También denominada lenteja de agua, es una planta acuática que flota libre en aguas estancadas o ríos con un curso lento de agua, sus hojas son ovaladas y planas con un tamaño que varía de 0,1 cm a 2 cm, necesitan de una iluminación intensa. El lecho y las raíces de las plantas reducen la velocidad del agua además se produce un tamizado en los espacios intersticiales del lecho filtrante el cual permite la remoción de partículas, nitrógeno, fósforo, remoción de metales, DBO.

**Figura II-10** Lenteja de agua.



**Fuente:** Alamy Stock Pho, (2008)

## 8 BIOFILTRO

Los primeros reportes del uso de los sistemas de biofiltración datan del año 1923, que se utilizó para remover el azufre ( $H_2S$ ) proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales. Los primeros biofiltros fueron sistemas abiertos en los que se empleaban los suelos porosos como soporte, se creaban huecos en el suelo y se colocaba un sistema de tubos perforados en la base, que dejaban pasar aire a través del suelo. Para ciertas aplicaciones, aún se siguen utilizando variantes de este diseño. La primera patente de esta tecnología se registró en el año 1934, para el tratamiento de compuestos olorosos. A partir del año 1950, se publican los fundamentos de

la tecnología de la biofiltración y se difunde en los Estados Unidos de América y Alemania occidental. En esta década, se instalan biofiltros de tierra para el tratamiento de olores en California, E.U.A. y en Nuremberg, Alemania (Leson y Winer 1991, citados por Romeros, T. (2013)).

En la década de 1970, los nuevos diseños de biofiltros permitieron mayores cargas de olores y compuestos volátiles. Estos diseños se desarrollaron principalmente en Alemania y en los Países Bajos. Los sistemas seguían siendo abiertos pero con una modificación en la distribución del aire para evitar el taponamiento y se utilizaron nuevos materiales de empaque, tales como mezclas de compostas y trozos de madera. En los años 80 se desarrollaron sistemas cerrados, algunos con sistemas de control computarizados, empleando medios filtrantes inorgánicos novedosos, tales como el carbón activado granular, el polietileno y las cerámicas. A mediados de esa década se publican también diferentes modelos matemáticos que permiten optimizar y comprender mejor los sistemas de biofiltración (Ottengraff et al. 1986, citados por Romeros (2013)).

Los biofiltros, también denominados filtros biológicos, son dispositivos que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes desde una corriente de fluido (aire o agua) mediante un paso biológico. El proceso permite tratar simultáneamente afluentes líquidos y gaseosos utilizando medios orgánicos (Buelna *et al.*, 1998). La tecnología se basa en la capacidad que tienen ciertos medios orgánicos de adsorber diferentes sustancias contaminantes y de favorecer la implantación de microorganismos capaces de biodegradarlas en CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, y H<sub>2</sub>O (Bélanger *et al.*, 1987 citado por Garzón et al., 2012). El medio filtrante está constituido esencialmente de especies vegetales fitrorremediadoras, su formulación (receta) es establecida en función de las características del efluente a tratar y de los objetivos de descarga. El medio orgánico puede ir desarrollándose

hasta llegar a su edad adulta y liberar semillas que la reemplace, lo que es considerada una buena alternativa para el tratamiento de aguas producidas

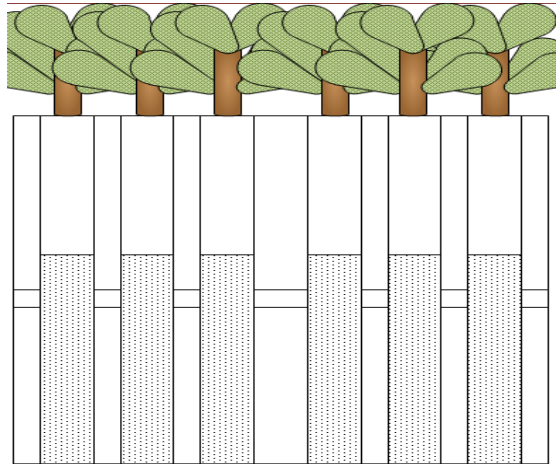
Las aguas alimentan el biofiltro, estas entran a través del orificio hasta llegar al medio filtrante, en donde son tratadas mediante cuatro mecanismos naturales que actúan simultáneamente: absorción, adsorción, biodegradación y eliminación de elementos tóxicos. El control de la planta aplicada permite un equilibrio entre el crecimiento y decrecimiento de la biomasa, lo que conduce a una biodegradación de los contaminantes. Las aguas producidas que son tratadas pueden ser reutilizadas o ser descargadas al cuerpo receptor. El sistema es modular, lo que permite adaptarlo en función de la complejidad del efluente a tratar, de los objetivos de descarga y del incremento de la descarga.

El principio de este sistema es el de poner en contacto las aguas que contienen contaminantes, con una especie vegetal apropiada, la cual pueda generar la población de microorganismos, para así exponerla en el agua durante un tiempo, permitiendo de esta manera realizar el proceso de eliminación de elementos tóxicos. Por consiguiente, la estabilización y eliminación de los residuos contenidos en el agua se realiza principalmente por descomposición, generalmente oxidación, por metabolismo microbiano y los mismos convirtiéndose en materiales microbianos celulares.

El procedimiento de tratamiento biológico se clasifica según la dependencia de oxígeno de los microorganismos responsables del tratamiento. En los procesos aeróbicos, la estabilidad se consigue mediante microorganismos aeróbicos y facultativos; en los procesos anaeróbicos, se utilizan microorganismos anaeróbicos y facultativos.



**Figura II-11** Vista lateral del diseño de un Biofiltro.



**Fuente:** González I, (2018)

### **8.1 Filtro Anaeróbicos de Flujo Ascendente**

Es un proceso biológico en el cual los microorganismos convierten los compuestos orgánicos de las aguas residuales en metano, dióxido de carbono, materiales celulares y otros compuestos orgánicos, por lo cual su función se basa en la descomposición, con una reacción de tres etapas:

1. Hidrolisis de los sólidos orgánicos, suspendidos para dar compuestos orgánicos solubles. Esto es, que los compuestos de alto peso molecular como las proteínas, son descompuestas en sustancias solubles de bajo peso molecular.
2. Acetogénesis o conversión de los solubles orgánicos en ácidos grasos volátiles, principalmente, ácidos acético, lo cual baja el pH del sistema.
3. Metanogénesis o conversión de los ácidos grasos volátiles en gas metano, anhídrido carbónico y una pequeña cantidad de hidrógeno.

Por otro lado, los microorganismos requieren nutrientes para sostener su crecimiento, debido a la degradación de los elementos contaminantes, pueden estos obtener nitrógeno y fosforo, además de los nutrientes antes mencionados, los microorganismos requieren de otros para su desarrollo, como los son; azufre, hierro, calcio, magnesio, sodio y potasio, que son muy comunes en las aguas contaminadas.

La integración de plantas vegetales en el biofiltro ayuda al proceso de degradación de los contaminantes, permitiendo de esta manera que se genere una población de biomasa, las cuales pueden obtener los nutrientes necesarios para su evolución, accediendo de este modo a generar dos elementos filtrantes, ya que actúa el proceso de fitorremediación y la degradación de compuestos por microorganismos, que interactúan en la parte del rizoma de la planta. De este modo, los elementos tóxicos pueden ir degradándose más rápidamente para dejar el agua con menos elementos contaminantes, debido a que no todos los elementos son eliminados en su totalidad.

Por consiguiente, el biofiltro puede actuar en diferentes tasas de líquido y de este modo el diseño de dicho dispositivo permitirá que se tenga un contacto óptimo con el fluido a tratar, permitiendo que las aguas logren ser tratadas directamente, pero el proceso de tratamiento es algo lento y requiere de varias unidades de plantaciones en el sitio a descontaminar, además, se debe tener en cuenta, el agua que va a pasar por el material filtrante, y así saber la planta adecuada a emplearse y que cumpla con el procedimiento correctamente.

## **9 BIOFILTROS EN FORMA DE HUMEDALES**

El uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales se inició en el año 1966 con los trabajos realizados por Kathe Seidel en el “Max Planck institute” en Alemania, cuando encontró absorción y metabolización de

nutrientes, sustancias orgánicas y tóxicas por parte de plantas (*Scirpus lacustris*). Años más tarde, Reinhold Kickuth (1981) desarrolló trabajos con esta tecnología incluyendo el concepto “Root zone method” con el uso de suelos de alto contenido de arcilla, lo cual ocasionó problemas hidráulicos y operacionales a los sistemas. Entre los años 70 y 80 el concepto de humedales construidos fue introducido en otros países como Australia, Dinamarca, Reino Unido, Estados Unidos y otros países (Vymazal and Kröpfelová, 2008). Reportándose como el primer sistema piloto construido en América entre los años 1973-1976, aquel que fue construido por Brookhaven National Laboratory cerca de Brookhaven, New York (Guessner et al., 2005).

Cabe mencionar, que se evidencia una gran diversidad de plantas que han sido usadas para el tratamiento de aguas en los humedales, de acuerdo al tipo de especie, se realiza el diseño de la estructura del humedal, debido a que no todas sobreviven al mismo entorno, esto puede ocurrir, porque algunas plantas son Semiacuáticas (que necesita arena) o totalmente acuáticas (sin uso de arena), de acuerdo a esto se realizara el mejor diseño del biofiltro. De igual modo, los humedales se realizan con una estructura que permita un flujo libre de agua exponiendo la vegetación flotante y plantas emergentes. Cabe resaltar, que cuando el agua fluye a través del humedal, es tratada mediante la sedimentación, filtración, oxidación, reducción, adsorción y precipitación (Kadlec and Wallace, 2009).

Es relativo hacer mención, en que se debe considerar la temperatura del agua a tratar, la toxicidad y contaminantes, esto repercute, ya que cada una de las especies vegetales realiza una fitorremediación diferente, por lo cual se debe tener en cuenta la estructura y el agua a tratar.

Por otro lado, algunas especies vegetales utilizadas van desde árboles como Ciprés, Sauces y otros, hasta plantas emergentes (Cañas, Espadañas, Juncos) y flotantes (Lemna, Buchón de agua, Lechuga de agua, entre otros.)

(Reed et al, 1995), donde su uso ha dependido de las características de flujo deseado en el humedal. De acuerdo con Kadlec and Wallace (2009), las plantas son un componente importante en los humedales, sin éstas solo se hablaría de filtros de suelo, arena, grava o lagunas.

Ahora bien, la degradación de hidrocarburo no tan solo puede generarse mediante la asimilación por parte de las plantas sino también de la actividad aeróbica o anaeróbica de los microorganismos, siendo este último el mayor aporte hasta hora de la descomposición de los compuestos tóxicos y contaminantes. La comunicación de la acción microbiana cuando está en contacto con el agua realiza el rompimiento de las cadenas carbonadas, generando una energía suficiente para el desarrollo de la planta y nuevo crecimiento de biomasas

### **9.1 Humedales Flotantes**

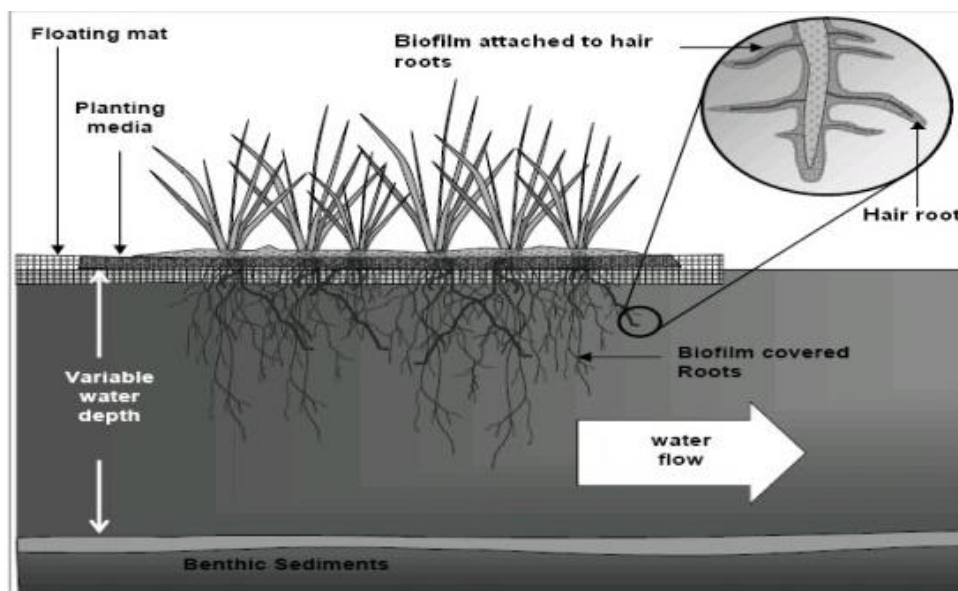
Los humedales flotantes son sistemas innovadores que usan plantas emergentes que crean una red de raíces flotantes por debajo de la superficie del humedal o del medio filtrante, con el agua circulando en la zona de las raíces (flujo subsuperficial) o entre los tallos de las plantas (flujo superficial), generando de esta manera un mejor empleo para el desarrollo de los microorganismos (Headley and Tanner, 2007). Mediante la aplicación de los humedales flotantes, facilita la toma de nutrientes y metales, del mismo modo ayuda al proceso de sedimentación y filtración directa del área contaminada.

Sin embargo, los humedales han sido desarrollados con el uso de plantas emergentes, porque estas requieren mayor contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo), la cual permite tener una mayor remoción de agentes contaminantes. Estos sistemas son de fácil aplicación y permite tener en control el surgimiento de biomasas. Cabe destacar, que no presentan problemas por las vibraciones de los niveles del agua y no genera restricciones en términos a la profundidades de las aguas, del mismo facilita

el anclaje de microorganismos a las raíces, ayudando de esta manera a la planta, debido a que “el aire expuesto por los microorganismos es tomado por las plantas y almacenado en la raíces, rizomas y hojas” (Hoeger, 2010).

A pesar que los humedales flotantes han sido establecidos para el propósito ornamental (Van de Moortel, 2008), algunos autores han señalado que serían una gran aplicación para los procesos de tratamiento del agua, ya que, permite tener un procedimiento de manera ecológica y económicamente rentable, de igual manera las especies vegetales ayudaran al proceso de degradación de los fenoles en el agua contaminadas con crudo.

**Figura II-12** Humedales flotantes.



Fuente: Headley and Tanner, 2016.

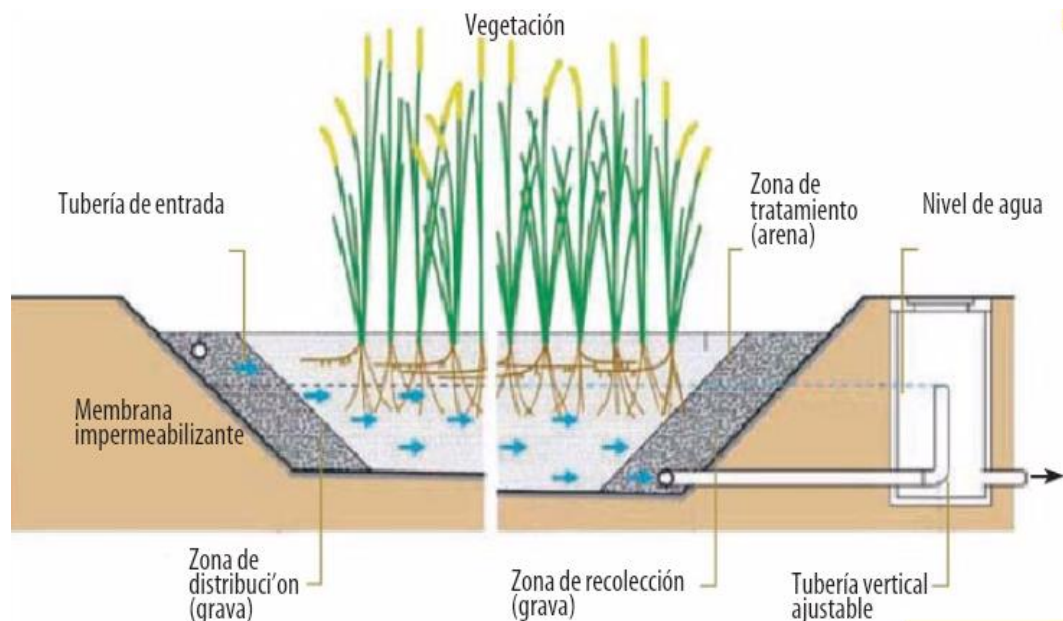
## 9.2. Humedales de flujo horizontal superficial

Este tipo de humedal es diseñado para simular las condiciones de un humedal natural (EPA citado por Cubillos, 2011) en el cual, el medio filtrante es de poca altura y la lámina de agua se encuentra expuesta a la atmósfera, es decir, el nivel del agua está por encima del medio de soporte o material

filtrante. Generalmente este humedal tiene plantas emergentes distribuidas a lo largo del sistema.

Sin embargo, los biofiltro construidos de flujo superficial comúnmente consisten en camas o canales con un fondo o suelo impermeable, son densamente plantados por diferentes especies de macrófitas sumergidas, emergentes y flotantes; típicamente, poseen profundidades de 0.3 m (Kadlec, 2009), aunque algunos autores reportan profundidades mayores, 0.1 – 0.8 m (Reed et al., 1995; El-Sheikh et al., 2010). En los humedales de flujo superficial el material sedimentable es rápidamente removido, que en los humedales de flujo sub-superficial, debido a los fenómenos de deposición y filtración que en estos ocurren (Emeka, 2008). En estos sistemas la mayor fuente de inyección de oxígeno es la aireación del agua por su exposición a la atmósfera y la remoción de nitrógeno también es eficiente por los procesos de nitrificación/denitrificación que en ellos ocurren.

**Figura II-13** Humedales de flujo horizontal superficial.



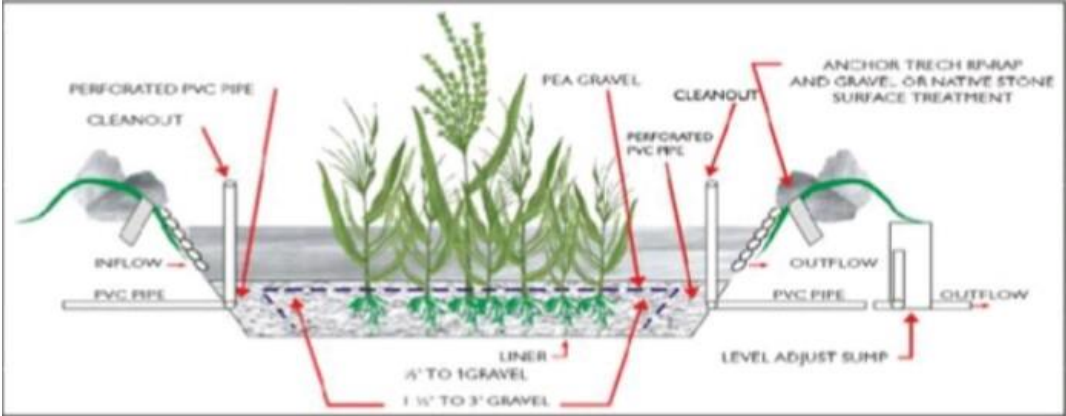
**Fuente:** Morel y Diener, 2006.

### **9.3. Humedales de flujo horizontal sub-superficial:**

Estos sistemas consisten en canales con suelo o membrana impermeable para evitar el riesgo de filtración de los contaminantes hacia el subsuelo, y son alimentados al inicio o entrada del humedal, haciendo que el agua fluya a través de un medio poroso (filtrante) por debajo de la superficie del suelo, sin dejar que el agua residual se encuentre en contacto con la atmósfera, esto permite la formación de zonas aerobias, anóxicas y anaerobias, siendo principalmente la zona aerobia aquella donde se encuentran las raíces y rizomas de las plantas y donde se genera la liberación de oxígeno para el sustrato (Vymazal, 2009). Este tipo de flujo en los humedales, permite que predominen ciertas rutas y mecanismos de degradación de los contaminantes, favorecidas por las condiciones anaerobias (Stottmeister et al., 2003).

La remoción de contaminantes en estos sistemas, ocurre debido al contacto de los microorganismos adheridos a las raíces de las plantas, y medio filtrante con los compuestos presentes en el agua residual. Los humedales de flujo sub-superficial son más efectivos que los de flujo superficial, sin embargo, son susceptibles a sobrecargas, flujos superficiales y obstrucciones del medio filtrante, reduciendo su eficiencia en el tratamiento.

**Figura II-14** Humedales de flujo sub-superficial.



**Fuente:** Llagas W. and Guadalupe E., 2005



## **SISTEMA DE VARIABLES**

Hernández, (2003) citado por el instructivo del Trabajo de Grado, la define como la “propiedad que tiene una variación que puede medirse u observarse”, (p.144). Para Sabino (1992), son “característica o casualidad de la realidad que es susceptible de asumir diferentes valores”. A demás, se definen las variables:

- **Variables independientes:** Para Igartua y Humanes (2004), (citado por el instructivo del Trabajo de Grado), son las que el “investigador utiliza para ver en qué medida cambia la variable dependiente”.

Partiendo de lo anterior, en este estudio se establece como variable independiente las condiciones de operación de la biolaguna; quedando definida para efectos del trabajo como el conjunto de elementos que intervienen en su proceso de funcionamiento (composición del flujo de entrada a la biolaguna, temperatura, caudal, tiempo de residencia).

### **Variables dependientes:**

Diseño preliminar del biofiltro; está enfocado a través de las etapas de un proyecto ingenieril, en donde se desarrolla la simulación numérica con el objetivo de saber el dimensionamiento del equipo para luego desarrollar el plano y la guía de descripción.

## MAPA DE VARIABLES.

Desarrollar un diseño preliminar de biofiltro flotante a escala de prototipo basado en los principios de fitorremediación para el tratamiento de las aguas producidas en la estación de flujo Sinco D.

**Tabla II-1.** Mapa de Variables.

Objetivos Específicos	Variable	Definición Operacional	Indicadores	Ítems
Caracterizar los efluentes industriales petroleros con enfoque a la biolagunas.	Características de los efluentes.	Son todas aquellas circunstancias o condiciones en las cuales las aguas van cambiando su estructura, debido a la exposición con el crudo y gas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudal.</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Dimensiones</li> <li>• Composición del fluido.</li> </ul>	1-1.1 2 - 2.1 2.2-2.3 2.4
Analizar el proceso de fitorremediación como técnica de tratamiento efluentes industriales petroleros	Técnica de fitorremediación	La fitorremediación es el proceso biológico de la planta, la cual permite el sustento de la misma en condiciones contaminadas, ya que remueve los elementos tóxicos a través de sus raíces.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de remoción.</li> <li>• Longitud de sus raíces.</li> <li>• Peso húmedo de la planta.</li> </ul>	1.2 1.3 3
Establecer los principios de diseño de un biofiltro a partir del empleo de especies vegetales autóctonas del Estado Barinas.	Principios de Diseño del biofiltro	Consiste en todas aquellas condiciones y/o características a considerar en el dimensionamiento del biofiltro, tales como: Condiciones del fluido a tratar, características del medio filtrante a seleccionar, tipo de material a emplear en la construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características del equipo: Materiales, Ergonomía, Especies vegetales</li> </ul>	1.4 3.1
Dimensionar el prototipo de biofiltro flotante según las condiciones presentes en la biolaguna de la estación de flujo Sinco D.	Dimensiones del Biofiltro	Se refiere a las medidas referente a las dimensiones: alto, largo y ancho que definen el espacio a emplear dentro de la biolaguna por parte del equipo diseñado así como también de los accesorios que requiera para su óptimo funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto</li> <li>• Ancho</li> <li>• Largo</li> </ul>	4 4.1

**Fuente:** GONZALEZ I., 2018.

## **NORMATIVA Y ASPECTOS LEGALES**

Es indiscutible la problemática que se ha generado a nivel mundial por la situación de la contaminación de los recursos hídricos, por lo cual Venezuela busca minimizar los efectos contradictorios que se presentan por el mal manejo de los fluidos. Es por esto que surgen las leyes, decretos y resoluciones que permiten resguardar al ecosistema, creando orden en las estaciones de flujo acerca del manejo y vertimiento de los fluidos.

### **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**

#### **GACETA OFICIAL N° 5.453, 24 de Marzo de 2000**

El capítulo IX de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela del año 2000 que trata sobre los derechos ambientales, reseña, que es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en pro del beneficio actual y futuro de la sociedad, por lo que toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado; para esto el Estado tiene la obligación, con la participación activa de la sociedad, de garantizar un ambiente libre de contaminación donde el aire y demás recursos naturales sean especialmente protegidos **(Art. 127)**.

Con este fin, el Estado desarrollará políticas de ordenación del territorio atendiendo a las necesidades ecológicas de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana; además de que se asegurará de que todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas sean previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y sociocultural **(Art.128)**.

Por otra parte, en los contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, o en los permisos que se otorguen, que afecten los recursos naturales, se considerará incluida aun

cuando no estuviera expresa, la obligación de conservar el equilibrio ecológico (**Art. 129**).

Los mencionados artículos permiten sustentar el desarrollo del tema de investigación, debido a que estimula a la creación que permita generar una mejor calidad de vida en pro al medio ambiente para así asegurar la evolución y surgimiento de los seres humanos. También se debe tener presente los efectos perjudiciales que posee cada evento mal operado, ya que esto repercute en la calidad de vida de los individuos en el planeta, por tal motivo se tiene que contar con un plan estratégico para la solución en el momento dado y de este modo contribuir a la reducción del impacto ambiental causado.

## **LEY DEL PLAN DE LA PATRIA**

### **SEGUNDO PLAN SOCIALISTA DE DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA NACIÓN 2013-2019**

**GACETA OFICIAL N° 6.118 EXTRAORDINARIO, 4 DE DICIEMBRE DE  
2013.**

#### **Gran Objetivo Histórico N°5**

**V.** contribuir con la preservación de la vida en el planeta y la salvación de la especie humana.

#### **Objetivo Estratégico y Generales**

**5.1.1.2.** Desarrollar una política integral de conservación, aprovechamiento sustentable, protección y divulgación científica de la diversidad biológica y de los reservorios de agua del país.

**5.1.3.2.** Promover la generación y apropiación social del conocimiento, tecnología e innovación que permitan la conservación y el aprovechamiento

sustentable, justo y equitativo de la diversidad biológica, garantizando la soberanía del Estado sobre sus recursos naturales.

Estos objetivos ofrecen un soporte para el progreso de investigaciones que traten sobre temas como el que aquí se plantea, ya que, estos favorecen la conservación del ambiente y la vida humana en el planeta tierra.

## **LEY ORGÁNICA DEL AMBIENTE**

**GACETA OFICIAL N°5.833 EXTRAORDINARIO, 22 DE DICIEMBRE 2006**

### **TÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES**

**Artículo 1:** esta ley tiene por objetivo establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad.

De igual forma, establece las normas que desarrollan las garantías derechos constitucionales a un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado.

**Artículo 12:** El Estado, conjuntamente con la sociedad, deberá orientar sus acciones para lograr una adecuada calidad ambiental que permita alcanzar condiciones que aseguren el desarrollo y el máximo bienestar de los seres humanos, así como el mejoramiento de los ecosistemas, promoviendo la conservación de los recursos naturales, los procesos ecológicos y demás elementos del ambiente, en los términos establecidos en esta Ley.

### **TÍTULO IV DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL Y LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA**

**Artículo 34:** la educación ambiental tiene por objetivo promover, generar, desarrollar y consolidar en los ciudadanos y ciudadanas conocimientos, aptitudes y actitudes para contribuir con la transformación de la sociedad, que se reflejará en alternativas de solución a los problemas socio-ambientales, contribuyendo así al logro del bienestar social, integrándose en la gestión del ambiente a través de la participación activa y protagónica, bajo la premisa del desarrollo sustentable.

Estos artículos permiten argumentar el equilibrio del ser humana con el ambiente, por lo cual se plantea como iniciativa el trabajo aquí señalado, que permite la reducción de la contaminación, generando un menor impacto al ecosistema.

## **NORMAS PARA LA CLASIFICACIÓN Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA Y VERTIDOS O EFLUENTES LÍQUIDOS**

### **DECRETO 883**

#### **GACETA OFICIAL N°5.021, 18 DE DICIEMBRE DE 1995**

**Artículo 2.** Las acciones de conservación y mejoramiento estarán dirigidas principalmente a la reducción o prevención de la generación de efluentes, mejoramiento de la calidad del efluente, uso de tecnologías de producción más limpia, el establecimiento de límites máximos de elementos contaminantes en los vertidos, así como prácticas de reciclaje y reusó.

Este artículo busca la iniciativa de crear nuevas tecnologías para el tratamientos de los recursos hídricos de forma más agradable al ambiente, es decir, reduciendo los tratamientos químicos, de esta manera permite tener límites con respeto a los elementos tóxicos que contiene las aguas, permitiendo argumentar el desarrollo de la investigación, ya que, se busca implementar filtros para especies vegetales para el tratamiento del recurso hídrico de forma biodegradable.

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

---

### **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Hurtado (2000, Pg. 325), explica que la investigación proyectiva “consiste en la elaboración de una propuesta, un plan, un programa o un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, de una institución o de una región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y de las tendencias futuras”. Aunque el concepto anterior limita la investigación proyectiva a los tipos de trabajos que pueden ser categorizados para este tipo de investigación, la autora incluye también a todas aquellas investigaciones que conduzcan a un invento, programas o diseños que conduzcan a creaciones.

Sin embargo, para ser más específicos Cegarra, citado por Casañes (2016, p. 44) define al tipo de investigación que persigue la invención de artefactos o de procesos con el objeto de ofrecerlos al mercado, como investigación tecnológica. Al mismo tiempo, se implementa la metodología de avanzada, en donde (Castillo 2017) la establece como la unión participativa y conjunta con otros trabajos previamente realizados, el cual permite una complementación de proyectos.” También se tomó en consideración otros aspectos vinculados con la calidad de la educación privilegiando los factores ergonómicos que permiten aplicar la ergonomía para abordar aspectos físicos y mecánico y el docente e investigador como trabajador que tiene una realidad laboral y social en la que debe accionar procesos de cambio social mediante proyectos y programas articulados y coordinados”.

Considerando las definiciones señaladas, el presente trabajo se enmarca en una investigación proyectiva orientada a una tecnológica, debido a que su finalidad es contribuir a minimizar el impacto ambiental generado por los contaminantes presentes en las corrientes de agua provenientes de los procesos de producción de crudo en la región llanera, las cuales son vertidas en los cuerpos naturales del estado Barinas, por lo cual se realiza el diseño preliminar de un prototipo de biofiltro flotante (invención de artefacto) cuyo funcionamiento se basa en los principios biológicos definidos como fitorremediación.

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para Sabino (1992) el diseño de la investigación

“es una unidad coherente desde el punto de vista lógico y metodológico; en ella existe un diseño, pero no como aplicación de tal o cual modelo abstracto sino como resultado de su propia estructura interior, de sus propuestas teóricas y de sus dificultades empíricas”.(p. 85)

Esto es muy común en la invención de nuevos productos, procesos de optimización o mejoras a equipos ya en funcionamiento. En este trabajo se procedió a seguir (según las necesidades propias de la investigación) las etapas de la Metodología Investigativa según Rincón, citado por Casañes (Ob. Cit. p. 46). Sin embargo, previo a esto se aplicaron técnicas de recopilación de datos propias de la investigación documental con apoyo en técnicas de la investigación de campo.

En el primer caso Arias (2012, pg. 27), expone que la investigación documental “es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas.”. UPEL (2002), completa lo anterior, señalando



que la “investigación documental tiene como propósito ampliar y profundizar el conocimiento, con apoyo, principal en trabajos previos y datos divulgados”.

En tal sentido, para el desarrollo de esta investigación, gran parte de la información fue adquirida de los Informes de Pasantías y Trabajos Especiales de Grado disponibles en el subprograma de Ingeniería de Petróleo de la UNELLEZ, completando con exploración en los sitios web especializados en las áreas ambiental y petrolera.

En el caso de la investigación de campo, Arias (2012, pg. 31) señala que “es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes”. Con un enfoque de macroproyecto, según Fernández los define que “En este contexto, los macroproyectos efectivamente se constituyen en unas estrategias que promueven la circulación y la apropiación del conocimiento para la transformación social”; en tal sentido, fue necesario recolectar datos en la estación de flujo Sinco D, específicamente las características de los efluentes y condiciones de las Biolagunas a través del empleo de un informante clave. Así como también se tomaron medidas del largo de las raíces de la *Eichhornia Crassipes* recolectada de un ambiente silvestre.

Para el dimensionamiento del equipo fue necesario obtener datos a través de la técnica de la simulación la cual parte de la teoría homónima que podría definirse como un medio que experimenta con un modelo detallado de un sistema real para determinar cómo responderá el sistema a los cambios en su estructura o entorno (Harrell, C., Tumay, K; 2001, citados por Fullana y Urquía, s/f, p. 1,2). Por otro lado se podría afirmar que la simulación permite experimentar con un modelo del sistema para comprender mejor los

procesos, con el fin de mejorar la actividad en las empresas (Harrington, H. J. y Tumay, K; 1999, citados por Fullana y Urquía, ob. Cit. p. 2).

## **METODOLOGÍA**

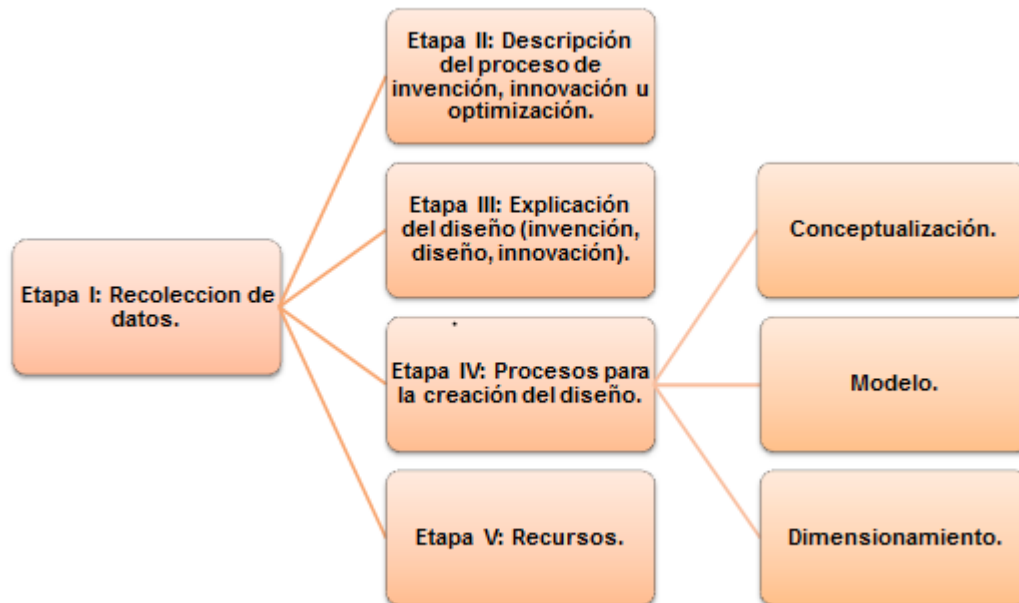
La metodología empleada para la propuesta, se ajusta a la de Investigación Tecnológica propuesta por Rincón citada por Casañes (2016, p.45) apoyada en las técnicas de las investigaciones: Documental, de Campo y de Simulación, ya descritas en el apartado anterior. Para cumplir el desarrollo de los objetivos específicos planteados, se estructuró el proceso de la siguiente manera:

- Recolección de datos. Consistió en obtener, a través de la aplicación de distintas técnicas, los datos referentes a las condiciones y/o características a considerar en el dimensionamiento del biofiltro.
- Descripción del proceso de invención, innovación u optimización. Se refiere al concepto teórico o información base que sirve de sustento a la invención. Esta información se presenta en este documento en el Marco Teórico, específicamente en el apartado nº 8, cabe señalar que este es un trabajo articulación de varios proyectos.
- Explicación del diseño (invención, diseño, innovación). El diseño parte de la idea de crear un equipo que permita la aplicación de la fitorremediación en una biolaguna de manera controlada, mejorando el proceso de biorremediación aplicado con tecnología de humedales artificiales, ya que este último emplea plantas semiacuáticas que requieren un soporte orgánico para mantenerse. En la presente invención se emplea un soporte plástico como medio de estabilización de la planta, las cuales se encuentran ocupando espacios anulares (tubos con mallas) que forman el medio filtrante del equipo. Los tubos pueden ser removidos a voluntad, con facilidad a fin de poder realizar

el mantenimiento adecuado a las especies vegetales o su reemplazo por deceso. El equipo diseñado es modular, es decir, se acopla a otras unidades semejantes para poder aumentar la capacidad de tratamiento. Además la combinación de plantas con largas raíces y plantas de cortas, hace que el tratamiento se realice de manera completa en todos los niveles de profundidad de la biolaguna.

- Procesos para la creación del diseño. El diseño del equipo se estructuró en tres fases: Conceptualización, Modelado y Dimensionamiento del Equipo. Durante la primera etapa se establecieron los criterios o parámetros bajo los cuales debe funcionar el dispositivo; la segunda etapa correspondió al análisis del proceso físico que debe realizar el aparato a partir del cual se desarrolló un modelo matemático coherente con el funcionamiento del aparato; esto permitió desarrollar los cálculos pertinentes que se desarrollaron en la tercera fase y de esta manera dimensionar el equipo.

**Figura III-15** Diagrama de flujo, táctica realizada para el desarrollo de la investigación.



**Fuente:** González, I. 2019.

## **POBLACIÓN Y MUESTRA**

Esta investigación se enfoca en una unidad de análisis según (Azcona, et.) “referentes empíricos que el investigador utiliza para obtener los datos que necesita” además señala que “la técnica psicoanalítica para recolectar y procesar los datos”, ya que no se tomó muestra de cada agua proveniente de los pozos si no la unión de los fluidos en la entrada a la biolaguna. Esto quiere decir que se encuentra dividida en macro micro.

La macro es aquella que representa las estaciones de flujo Mingo y Sinco D, con sus respectivos pozos.

El micro es la unidad biológica conocida como biolaguna (P1).

## **TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES APLICADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **Técnica**

Bisquerra, R. (1989 pg. 28), define “las técnicas como aquellos medios técnicos que se utiliza para registrar observaciones y facilitar el tratamiento de las mismas”. Así mismo, Arias (2012, pg. 67), menciona que “es procedimiento o forma particular de obtener datos o información” y plantea que “conduce a la obtención de información para que los datos puedan ser procesados, analizados e interpretados”. En tal sentido las técnicas implementadas para a recolección de datos que se utilizaron para cumplir con el desarrollo de los objetivos fueron:

#### **1. Análisis documental**

Es la técnica implementada en el diseño de investigación documental, según Arias (2012, pg. 68), recalca que “es un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”, en esta investigación se recurrió a la interpretación de información archivada, contenida en documentos como: trabajos de investigación, diapositivas, revistas, archivos de la web, fichas, entre otros. Esto permitió la obtención de las características de los efluentes que llegan a la estación de flujo Sinco D, la temperatura y tasa de fluido, específicamente en la entrada de la biolagunas, con la finalidad de conocer los rasgos de los efluentes, los cuales se encuentran representados en la tabla IV-2.

También se empleó esta técnica para recopilar información referente a los conceptos básicos de fitorremediación y forma de actuación; lo cual fué considerado para la selección de las macrófitas flotantes que actuaran como medio filtrante, a través de las características de las especies vegetales y la

capacidad de remoción de elementos contaminantes a través de sus rizomas. Los cuales quedan plasmados en la tabla IV-3.

## **2. Observación no estructurada**

Arias (2012, pg. 69), señala que “se ejecuta en función de un objetivo, pero sin una guía prediseñada que especifique cada uno de los aspectos que deben ser observados”. Esta técnica fue empleada para la obtención de información visual de cómo es el medio filtrante y la longitud de sus raíces, ayudando de este modo a realizar el diseño del biofiltro.

## **3. Entrevista no estructurada o informal**

Arias (2012, pg. 73), establece que “en esta modalidad no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos que permiten definir el tema de la entrevista”. Esta técnica se empleó para conocer el estado actual de funcionamiento de la biolaguna, así como la necesidad de establecer nuevos mecanismos o métodos de tratamiento de los efluentes en dichas estaciones. En el Anexo figura. 39 se presenta la entrevista realizada al Ing. Henry Briceño

## **4. Simulación computarizada a través del diseño de un modelo matemático.**

Se empleó esta técnica para minimizar el tiempo de análisis para el dimensionamiento del equipo. Para ello en la etapa de Modelización del proyecto, una vez culminada la creación del modelo matemático que se aproxima al funcionamiento físico del aparato, se procede a “programar” la hoja electrónica de cálculo para realizar las iteraciones de cálculo necesarias para la toma de decisiones respecto al dimensionamiento deseado. Esta hoja electrónica se coloca a disposición de la comunidad científica y estudiantes de la carrera a efectos de realizar mejoras que permitan afinar la

herramienta, así como también el desarrollo de ejercicios docentes que muestren la utilidad de este tipo de herramientas.

## **Instrumentos**

Según Arias (2012, pg. 68), señala que “un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. Por otro lado, Hurtado (2008, p. 153), menciona que es una “herramienta con la cual se va a recoger, filtrar y codificar la información, es decir el con qué. Los instrumentos pueden estar ya elaborados e incluso normalizados”. Por eso, para cada técnica implementada se mencionan los instrumentos correspondientes:

- Análisis documental: equipos de computación, libros diseño de biofiltros, trabajos de pasantía, trabajos de grado, diapositivas, información de las características de las aguas de producción suministradas por la estación de flujo Sinco D.
- Observación no estructurada: cuaderno de notas, cámara.
- Entrevista no estructurada o informal: cuaderno de notas.
- Simulación computarizada: computadora con el paquetes de Microsoft office los empleados fueron los siguientes: Microsoft Excel 2010 y Microsoft Word 2010 y Google SketchUp 8.

## **Materiales**

Salinas (2008, pg.58), plantea que “todos los insumos que por sus características o uso, se gastan o consumen; también aquellos que son desechables, que no pueden o deben usarse de nuevo”.

Por lo anteriormente mencionado, se establece los implementos utilizados durante el desarrollo de la investigación; lápiz de creyón y de tinta, hojas, cuaderno, borrador, sacapuntas y computadoras.

### **Glosario de términos básicos**

**Angiospermas:** son llamadas plantas con flores que además pueden formar frutos.

**Reprocesos:** un producto que no cumple con los requisitos para emplearse en la industria o verse al ambiente.

**Anóxicas:** Agua dulce o de aguas subterráneas en las que el oxígeno disuelto está agotado.

**Biologunas:** son estructuras diseñadas en forma de pisana en las culas poseen biomasas que ayudaran al proceso de depuración del agua de manera constante.

**Contaminantes:** son sustancias toxicas que se acumulan en un medio que provoca que este sea no apto para el consumo. El medio puede ser el ecosistema.

**Cutícula:** Es una capa cerosa externa a la planta que la protege de la desecación a la que es expuesta en la atmósfera terrestre, además de proveer una barrera para la entrada de bacterias y hongos.

**Epidermis:** Es la capa exterior de la planta que cubre los tallos, hojas, frutas de la planta.

**Estomas:** Células que permiten el intercambio gaseoso de las hojas de las plantas terrestres.



Osmosis: Este fenómeno se da cuando existen dos disoluciones con concentraciones diferentes de solutos, las cuales están separadas por una membrana semipermeable que sólo deja pasar el disolvente y no los solutos.

Perennes: esto hace referencia a la cantidad de años, una planta vive un durante más de dos años.

Rizófora: es la interacción de las raíces de plantas y microorganismos del suelo.

Sustentáculo: es la columna o base que sirve de soporte.

Tóxicos: es la capacidad que tiene un elemento o sustancia química de producir efectos perjudiciales en la salud, así sea en pequeñas dosis.

Vacuolas: Son compartimientos cerrados por membranas plasmáticas que permiten el almacenamiento de distintos fluidos.

Xenobióticos: Conjunto de elementos contenidos en una sustancia que son ajenas o extrañas (contaminantes) en los seres organismos vivos.

## CAPÍTULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS

---

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante los instrumentos y técnicas aplicadas para lograr el cumplimiento del desarrollo de los objetivos específicos y el análisis que corresponde respectivamente a cada uno de ellos.

### **Caracterizar los efluentes industriales petroleros con enfoque a la biolagunas**

A través del instrumentó de recolección de datos se pudo obtener la tasa de fluido que manejan la biolagunas, que es de 132,5 MBAPD.

Luego se realizó y una entrevista no estructurada que permitió obtener las características de los fluidos que llegan a la entrada de la biolaguna de la estación de flujo Sinco D.

En la tabla, se presentan los resultados de la medición in situ de los parámetros físico-químicos de los efluentes que llegan a la estación de flujo, cabe destacar que los siguientes datos fueron suministrados por la estación de flujo Sinco D de PDVSA División Boyacá

**Tabla IV-2.** Parámetros físico-químicos del agua. Entrada de bioagunas.

---

<b>Hora</b>	<b>Alícuotas</b>	<b>Temperatura ( °C)</b>	<b>pH (U.pH)</b>	<b>Conductividad eléctrica (uS/cm)</b>	<b>Cloro residual (Mg/L)</b>
1:30 pm	1/1	34.1	8,13	1055	<0,1

---

**Fuente:** PDVSA – División Boyacá (2012).

**Tabla IV-3.** Parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Entrada de la biolaguna en P1.

VARIABLES	Unidad	Límites		Resultados	
		Dec. 883	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
		Artíc. 10	Agosto011	Octubre 2012	Enero 2012
Aceites y grasas animales y vegetales	mg/L	20	1,24	9,80	5,23
Aceites minerales e hidrocarburos	mg/L	20	2,89	5,00	1,36
Aluminio total	mg/L	5,0	0,2	0,1	0,1
Arsénico total	mg/L	0,5	<0,001	<0,001	<0,001
Alkil mercurio	N.A.	ND	<0,02	<0,02	<0,02

**Fuente:** PDVSA – División Boyacá (2012).

**Tabla IV-4.**Continuación parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Entrada de la biolaguna en P1.

VARIABLES	Unidad	Límites		Resultados	
		Dec. 883	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
		Artíc. 10	Agosto011	Octubre 2012	Enero 2012
Aldehidos	mg/L	2,0	<0,005	<0,005	<0,005
Bario total	mg/L	5,0	0,80	0,74	<0,03
Biocidas organoclorados	mg/L	0,05	<0,005	<0,005	<0,005
Biocidas organofosforados	mg/L	0,25	<0,002	<0,002	<0,002
Boro	mg/L	5,0	0,68	0,86	0,13
Cadmio total	mg/L	0,2	<0,002	<0,002	<0,002
Cianuro	mg/L	0,2	<0,001	<0,001	<0,001
Cloruros	mg/L	1000	223,8	342,37	161,5
Cobalto total	mg/L	0,5	<0,01	0,01	<0,01
Cobre total	mg/L	1,0	0,13	0,11	0,02
Coliformes totales	NMP/100 ml	1000	350	<2	170
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000	350	<2	<2
Color real	U.-Pt-Co	500	22	23	39

**Fuente:** PDVSA – División Boyacá (2012).

**Tabla IV-5.** Continuación parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Entrada de la biolaguna en P1.

VARIABLES	Unidad	Límites		Resultados	
		Dec. 883  Artíc. 10	1er muestreo  Agosto011	2do muestreo  Octubre 2012	3er muestreo  Enero 2012
Cromo total	mg/L	2,0	<0,02	<0,02	0,02
Demanda bioq. de oxígeno (DBO5,20)	mg/L	60	27	13	42
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	350	110,4	100,8	232,94
Detergentes y Dispersantes	mg/L	2,0	0,23	<0,025	0,31
Estaño	mg/L	5,0	<0,1	<0,1	<0,1
Fenoles	mg/L	0,5	2,38	3,41	3,50
Fluoruros	mg/L	5,0	0,30	1,31	1,04
Fósforo total	mg/L	10	0,35	0,2	0,12
Hierro	mg/L	10	0,64	0,15	0,03
Manganeso	mg/L	2,0	<0,01	0,01	0,06
Mercurio total	mg/L	0,01	<0,001	<0,001	<0,001
Nitratos + Nitritos	mg/L	10	0,10	0,17	0,70
Nitrógeno total	mg/L	40	2,80	<0,5	3,61

**Fuente:** PDVSA – División Boyacá

**Tabla IV-6.** Continuación parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Entrada de la biolaguna en P1.

VARIABLES	Unidad	Límites		Resultados		
		Dec. 883	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	
		Artíc. 10	Agosto011	Octubre 2012	Enero 2012	
Ph	U/Ph	6-9	8,10	8,12	8,13	
Plata total	mg/L	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	
Plomo total	mg/L	0,5	<0,05	<0,05	<0,05	
Selenio	mg/L	0,05	<0,001	<0,001	<0,001	
Sólidos flotantes	NA	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Presentes	
Sólidos sedimentables	ml/L	1,0	0,2	<0,1	0,1	
Sólidos suspendidos	mg/L	80	8	24	20	
Sulfatos	mg/L	1000	22	13	20,75	
Sulfitos	mg/L	2,0	<0,1	<0,1	<0,1	
Sulfuros	mg/L	0,5	<0,001	0,007	0,006	
Zinc total	mg/L	5,0	0,046	<0,005	<0,005	
Conductividad eléctrica	(uS/cm)	NE	788	867	1055	

**Fuente:** PDVSA – División Boyacá

Esta tabla muestra los resultados de los análisis de laboratorio realizados a los efluentes, para saber cuáles son los componentes; permitiendo

de este modo demostrar la cantidad de elementos que posee. Cabe señalar que estos datos fueron suministrados por la estación de flujo Sinco D de PDVSA División Boyacá.

### **Analizar el proceso de fitorremediación como técnica de tratamiento efluentes industriales petroleros:**

Para saber el proceso de fitorremediación que tienen las plantas a la hora de remover elementos tóxicos y contaminantes, fue importante obtener la información de estudios previamente realizados, ya que se basaron en el proceso de remoción, el cual permitió el desarrollo del biofiltro flotante. A continuación se describen los estudios empíricos previos.

- A. Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies (*Pistia stratiotes* L.) y (*Limnobium laevigatum* R.) para el tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario del cantón centinela del cóndor, provincia Zamora Chinchipe desarrollado por Cuevas, W.

Para obtener la remoción de los elementos contaminantes en aguas residuales, se basaron en el método estadístico no paramétrico denominado "Chi-Cuadrado o  $X^2$ ", el cual se basó en la siguiente fórmula:

$$X^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Dónde:

$f_o$ : frecuencia de valor observada

$f_e$ : frecuencia de valor esperada

Este estudio se llevó a cabo con 80 macrófitas, de las cuales se evaluó el 50% una vez a la semana. Por otro lado, la recolección de la muestra para los análisis físico químicos se recogió en un recipiente estéril de plástico con

un volumen de 500 ml, para los estudio de aniones y no metales se recogió en dos recipientes una cantidad de 500 ml cada uno, para los parámetros orgánicos se recolectó 1000 ml y la muestra para los parámetros de metales totales se recogió en un recipiente de plástico estéril de 40 ml. Este estudio se elaboró en unas piscinas experimentales, el cual posee un largo de 0,60 cm, ancho 0,75cm, profundidad 0,70cm, se instaló un sistema de conexión con tuberías PVT; en donde se tomaron diferentes muestras de tratamiento de los lixiviados.

- En lo concerniente a la caracterización de los parámetros en los lixiviados obtuvieron los siguientes resultados:

Parámetros Físico-Químicos. el valor de pH es de 6,4 el cual está dentro de los límites máximo permisibles, en este mismo sentido el resultado del parámetro de Sólidos Totales es de 211 mg/L, es decir, se encuentra sobre el límite permisible. Parámetros de aniones y no metales; Cloruro es de 13 mg/L, , sin embargo, el resultado para el parámetro Amonio expresado como Nitrógeno es de 57 mg/L, es decir se encuentra sobre los límites máximos permisibles. 62 Parámetros orgánicos. El valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es de 119 mg/L el cual está sobre los límites máximos permisibles de acuerdo a la tabla 9 del Anexo 1 del AM 097. El valor del parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO) es de 110 mg/L, el cual está sobre los límites máximos permisibles. Parámetros metales totales. En cuanto al análisis caracterizado del parámetro Hierro, el resultado es de 3.3 mg/L, el valor del parámetro Fósforo es de 0.24 mg/L, el cual es menor a 10 mg/L, por lo tanto, se encuentra dentro del límite máximo permisible.

Luego de establecer los parámetros a estudiar, realizaron las pruebas de laboratorio donde llegaron a la conclusión que ambas especies presentan un promedio del 74.99% de remoción de contaminantes siendo los datos más relevantes la remoción del 99.65% del Nitrógeno amoniacal, 98.32% del



DBO, 97.63% de SST y 97.62% en la remoción del DQO respectivamente, dicho en otras palabras, se puede afirmar que ambos tratamientos son eficaces a la hora de fitorremediar este tipo de contaminantes presentes en los lixiviados generados por el relleno sanitario.

B. Diseño y construcción de 2 biofiltros con eichhornia crassipes y lemna minor para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora río manso exa s.a. “planta la comuna”, quinindé, trabajo realizado por Saragon, O y Sánchez, J.

Este estudio se llevó a cabo en análisis de laboratorio donde tuvieron en consideración que fueran de la misma edad, seguidamente le realizaron una limpieza retirando todos los sólidos contenidos en sus raíces y rizoma. Su medio de biofiltro empleado es un humedal, en donde uno de ellos contenía 1056 lentejas de agua y el otro con 16 lechuguines; el diseño y puesta en marcha del equipo, lo realizaron en base a requerimientos hidráulicos tomando en cuenta criterios de diseño como se muestra a continuación (Darcy, 1996, pp. 4,5, citado por Saragon).

V = Volumen

Q = Caudal = 2 L/h =  $2 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup> /h

B = Ancho = 0.16

H = Altura = 0,66 m

L = Largo = 0,66 m

T = Tiempo de retención

I = Pendiente hidráulica = 0,5% =  $5 \times 10^{-3}$

Kf = Conductividad Hidráulica = piedra pómez = 1500 m/hora

$K_f$  = Conductividad Hidráulica= arena= 22,9 m/hora

$K_f$  = Conductividad Hidráulica= grava= 229,16 m/hora

$n$  = Porosidad arena= 29 %

$n$  = Porosidad grava=39 %

$n$ =Porosidad piedra pómez = 90% (Daily, 2010, p. 1).

Por lo cual sus diseños de Biofiltros (humedales) tuvieron las siguientes características, altura de 0,66 metros, ancho 0,16 metros, longitud de 0,66 metros; además cada uno tiene un tanque en la parte superior para el almacenamiento y suministro del agua residual, estos tanques tienen una capacidad de 60 litros los que están conectados con un codo este a una manguera de  $\frac{1}{2}$  pulgada la cual a su vez se conecta con un codo y manguera perforada ubicada de forma horizontal que permita una distribución uniforme del transporte del agua en los equipos.

Luego se colocó el material filtrante: una capa de arena con una altura de 5cm de diámetro 2 mm, aquí se ubicó una malla con el objetivo de evitar el arrastre de la arena hacia el fondo del biofiltro, luego una capa de gravilla de diámetro de 3mm con una altura de 1 cm y una capa de grava de 4 cm con 12 mm de diámetro, una capa de piedra pómez en bloque con un espesor de 2,5 cm en orden descendente (Organización Panamericana de la Salud, 2005, p. 12, citado por Saragon).

Además de todo el diseño realizado, ejecutaron una prueba de adaptación del pH, ya que las muestras era muy elevado de 4,78, por lo tanto para que la planta no se estresara, es decir se marchite; donde con ayuda del personal de la empresa, dedujeron que de 150 g de agua podían llevarse a un Ph menor, mediante la siguiente relación:

150 g de cal → 1 L agua

$$x \rightarrow 57 \text{ L agua} = 8550 \text{ g} = 8,55 \text{ Kg}$$

Finalmente ya instalados los biofiltros con sus respectivos tanques de distribución y recolección se realizó el tratamiento del agua residual a partir del 11 de octubre del 2015, el 18 de octubre del 2015 se recolectaron las muestras a la salida de los equipos para la caracterización correspondiente a los primeros 7 días de tratamiento; actividad que se realizó también el 25 de octubre del 2015 que corresponde a la segunda caracterización del tratamiento, 3 de noviembre del 2015 correspondiente a la tercera caracterización y 10 de noviembre del 2015 la caracterización final. La circulación del agua residual se realizó de forma manual y además se realizó la medición de la pérdida total de agua en cada muestreo lo cual se indica en la sección del diseño. Permitiendo que efectuaran el porcentaje de remoción.

La eficiencia de los biofiltros para cada parámetro por medio de la ecuación que a continuación se señala (Cano & Palacios, 2013, p. 56, citado por saragon). Los cálculos lo ejecutaron en el programa Excel, a través de la siguiente formula:

$$\% \text{ Degradación} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} * 100$$

C. determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta pistia stratiotes conocida como lechuga de agua, trabajo realizado por Aguayo C.

El experimento que se llevó a cabo por 14 días, consistió en medir el tamaño de raíz y contar el número de hojas y nuevos retoños de la lechuga de agua en dos lugares distintos, una pecera ubicada en la casa. Para empezar con este experimento, se tomaron 18 individuos de Pistia stratiotes;

estos individuos se dividieron en dos grupos de nueve, cada uno etiquetado con lana de diferentes colores, para ser pasados a dos peceras que contaban con las siguientes dimensiones: 45x34x13 cm, y contenían un volumen de capacidad de 20L.

El volumen de agua utilizado en cada pecera fue de 2L. La temperatura del agua del estanque de donde fueron extraídas las plantas era de 27°C, la pecera de casa de malla tenía una temperatura de 35°C y por último la 21 pecera ubicada en el vivero tenía una temperatura de 30°C. Para lograr medir las raíces de la planta, se utilizó una regla de 30cm.

Evaluación de la cantidad mínima de agua para el crecimiento óptimo de *Pistia stratiotes*. Este estudio se llevó a cabo en el vivero de la Universidad Icesi. Las plantas extraídas se colocaron en vasos desechables (1 planta por vaso) con los siguientes volúmenes de agua: 60mL, 80mL, 100mL, 120mL, 140mL, 160mL, 180mL y 200mL.

Este experimento se llevó a cabo por triplicado. Cabe mencionar que no se realizó ningún pretratamiento al agua utilizada ya que todos los experimentos el agua procedente del estanque. El crecimiento se evaluó mediante la medición de las raíces de las plantas en tres días, con la ayuda de una regla de 30cm.

- Evaluación del crecimiento de *Pistia stratiotes* en presencia de metales pesados.

Este experimento se llevó a cabo en el vivero de la Universidad Icesi. Se utilizó un volumen de 1400mL. Se realizaron soluciones a diferentes concentraciones de los metales Cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), Cromo ( $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ) y Plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), la evaluación se llevó a cabo a 0.5ppm, 1ppm, 3ppm, 5ppm y 7ppm haciendo las diluciones respectivas teniendo en cuenta que la solución matriz tenía una concentración de 1000ppm. Los

cálculos que se realizaron para la elaboración de las soluciones de metales, se obtuvieron de los siguientes pesos de las sales correspondientes; sulfato de cadmio: 0.0259g, nitrato de cromo III: 0.0256g y nitrato de plomo: 0.0248g.

Efectuaron una elaboración de la matriz

Cadmio Peso  $3CdSO_4 \cdot 8H_2O = 0,0259g$

Gil, Y. (2018). Efectividad de la (*Eichhornia Crassipes*) en la remoción de fenoles para el tratamientos de efluentes.

El presente trabajo se orientó a determinar la efectividad de la *Eichhornia Crassipes* como agente Fito-remediador de aguas contaminadas por fenoles provenientes de la industria petrolera ubicada en el Edo. Barinas – Venezuela; aplicando la fitorremediación, representada como una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados, usando plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes. Para ello se tomó una muestra de agua de la Biologuna (B) de la Estación de Flujo Sinco D de la División Boyacá de PDVSA, que se colocaron en contacto con una planta de *Eichhornia Crassipes* (Bora) por espacio de siete (7) días, monitoreando la evolución del tratamiento al tercer y séptimo día realizando la determinación de la cantidad de fenoles presentes en las aguas empleando como método de análisis el colorimétrico directo con 4 amino antipirina a través del equipo Hach DR5000 del Laboratorio de Análisis de Agua de la UNELLEZ en Barinas. Se aplicó como principio de diseño experimental el método de contraste ya que durante el tiempo en estudio se monitoreo una muestra de agua expuesta al ambiente (bajo las mismas condiciones) sin presencia de la planta debido a la naturaleza volátil de los compuestos orgánicos de interés lo que permitió cuantificar la efectividad del tratamiento. Encontrando un porcentaje en remoción de 60,6 % para fenoles en la muestra tratada

con la Bora lo que orienta hacia la aplicación de esta planta para complementar el tratamiento que en la actualidad se lleva a cabo en la estación.

Estos estudios se encuentran entrelazados en la investigación desarrollada debido a que prevén los datos de remoción de los medios filtrantes, generando como resultado la presente tabla.

**Tabla IV-7.** Características de absorción del medio filtrante.

VARIABLES	UNIDADES	MEDIO FILTRANTE ABSORCIÓN	
		EICHHORNIA CRASSIPES	PISTIA STRATIOTES
TEMPERATURA	°C	34	35
ARSÉNICO	MG/L	0.0023	-
CADMIO	MG/L	-	0.122
CROMO	MG/L	0.0037	0.230
FOSFORO	MG/L	0.53	0.05
FENOLES	%	60,6	-
HIERRO	MG/L	0.5	0.02
MAGNESIO	MG/L	-	0.45
NITROGENO	MG/L	2.53	0.5
PLOMO	MG/L	0.015	1.65

**Fuente:** González I, 2018.

La tabla muestra los componentes de remoción de contaminantes que remueven los medios filtrantes en cualquier medio que sean expuestos.

- Procedimientos del estudio realizado (Raíces)

En donde se buscaba los resultados que me permitirían realizar el procedimiento del desarrollo de la evaluación numérica con el fin de la adecuación del dimensionamiento del biofiltro. Los elementos estudiados son los siguientes:

**Tabla IV-8.** Características del medio filtrante.

MEDIO FILTRANTES	LONGITUD	PESO HÚMEDO	COLOR	CANTIDAD DE LÍQUIDO QUE ABSORBE
EICHHORNIA CRASSIPES	35 cm	300 g	Verde	0,3LPD
PISTIA STRATIOTES	15 cm	100 g	Verde	0,035 LPD

**Fuente:** González I, (2018).

La tabla muestra los valores obtenidos en el estudio que se le realizó a cada planta, es decir la evaluación del crecimiento, absorción de líquido y el peso húmedo; estas variables fueron obtenidas empleando los instrumentos como regla, peso, cinta métrica y tasa medidora.

Seguidamente, para saber cuánto fluido absorben las plantas se realizó una prueba colocándolas en dos recipientes para realizar la evaluación, el estudio se llevó a cabo con una cantidad de fluido de 400ml para la Pistia Stratiotes y Eichhornia Crassipes de 2 L, por un periodo de 4 y 7 días generando como resultado la siguiente tabla.

**Tabla IV-9.** Composición física del medio filtrante.

<b>MEDIO FILTRANTE</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 7</b>	<b>FLOTABILIDAD</b>
EICHHORNIA CRASSIPES	1.200L	2 L	Si
PISTIA STRATIOTES	140 ml	245 ml	Si

**Fuente:** González I, (2018).

Este estudio se llevó a cabo analizando el volumen de agua con el fin de saber la cantidad de absorción que poseen y a qué velocidad, generando como resulta que la Eichhornia Crassipes en un periodo de 7 días absorbió los 2 litros de agua y la Pistia Stratiotes 245 ml, pero se debe tener en cuenta que este experimento se llevó con agua libre de contaminantes.

### **Establecer los principios de diseño de un biofiltro a partir del empleo de especies vegetales autóctonas del Estado Barinas.**

- Los principios de diseño de un biofiltro

Para elaborar el diseño y/o dimensionamiento del equipo se consideraron los siguientes principios:

- Condiciones de entrada (Tipo de fluido): se tomó en cuenta las características que tiene el efluente y la cantidad de concentración de contaminantes, ya que esto me permitió realizar la selección del medio filtrante; teniendo en consideración que fuera de amplio espectro, es decir, que pueda remover gran parte de los elementos químicos que posee el agua.
- Condiciones de salida (Decreto 883): para realizar el diseño del biofiltro se tomó en cuenta el Artículo 10, el cual establece los rangos y



límites máximos de calidad de vertidos líquidos, esto quiere decir, que el equipo debe cumplir con estas normativas para que sea empleado en el tratamiento de efluente y permita la calidad del fluido, ya que al momento de ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses no cause ninguna impacto negativo al ambiente.

**Tabla IV-10.** Parámetros Físico-Químicos Límites máximos

Variables	Unidad	Límites
		Dec. 883 Artíc. 10
Aceites y grasas animales y vegetales	mg/L	20
Aceites minerales e hidrocarburos	mg/L	20
Aluminio total	mg/L	5,0
Arsénico total	mg/L	0,5
Alkil mercurio	N.A.	ND
Aldehidos	mg/L	2,0
Bario total	mg/L	5,0
Biocidas organoclorados	mg/L	0,05
Biocidas organofosforados	mg/L	0,25
Boro	mg/L	5,0
Cadmio total	mg/L	0,2

**Fuente:** Decreto 883, 1995.

**Tabla IV-11.** Continuación de los Parámetros Físico-Químicos Límites máximos

Variables	Unidad	Límites
		Dec. 883 Artíc. 10
Cianuro	mg/L	0,2
Cloruros	mg/L	1000
Cobalto total	mg/L	0,5
Cobre total	mg/L	1,0
Coliformes totales	NMP/100 ml	1000
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000
Color real	U.-Pt-Co	500
Cromo total	mg/L	2,0
Demanda bioq. de oxígeno (DBO5,20)	mg/L	60
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	350
Detergentes y Dispersantes	mg/L	2,0
Estaño	mg/L	5,0
Fenoles	mg/L	0,5
Fluoruros	mg/L	5,0
Fósforo total	mg/L	10
Hierro	mg/L	10
Manganeso	mg/L	2,0
Mercurio total	mg/L	0,01
Nitratos + Nitritos	mg/L	10

**Fuente:** Decreto 883, 1995.

**Tabla IV-12.** Continuación de los Parámetros Físico-Químicos Límites máximos

Variables	Unidad	Límites
		Dec. 883 Artíc. 10
Nitrógeno total	mg/L	40
pH	U/pH	6-9
Plata total	mg/L	0,1
Plomo total	mg/L	0,5
Selenio	mg/L	0,05
Sólidos flotantes	NA	Ausentes
Sólidos sedimentables	ml/L	1,0
Sólidos suspendidos	mg/L	80
Sulfatos	mg/L	1000
Sulfitos	mg/L	2,0
Sulfuros	mg/L	0,5
Zinc total	mg/L	5,0
Conductividad eléctrica	(uS/cm)	NE

**Fuente:** Decreto 883, 1995.

- Medio filtrante: se empleó en el desarrollo del diseño del biofiltro unas macrófitas flotantes que han demostrado ser eficientes a la hora de remover elementos contaminantes, al ser empleadas en el equipo cumplen unas series de condiciones para el funcionamiento; están quedan planteadas de la siguiente manera:
  1. Plantas: son los medios filtrantes que actúan en el biofiltros atrapando elementos contaminante en la corriente de fluido a través de sus raíces y el rizoma; cabe resaltar que a través del instrumento de recolección de

datos permito garantizar que fueran de amplio espectro para poder tener mayor remoción de los elementos tóxicos que contiene el agua de la estación de flujo Sinco D, también se tomó en cuenta las longitudes de las plantas, ya que ayudan a dimensionar la altura del equipo del biofiltro.

2. Tratamiento: el procedimiento que cumple el biofiltro es de flujo superficial y subsuperficial debido al tipo de plantas que se está empleando, ya que la longitud de sus raíces son de diferente tamaño, lo cual permite que se realice un mejor proceso al agua. Cabe señalar que el rizoma es una parte fundamental en el proceso de remoción porque contiene las raíces, las cuales remueven contaminantes a través del proceso de fitorremediación; Cada especie vegetal empleada puede secuestrar diferentes elementos químicos o tóxicos y estos se encuentran señalados en la siguiente tabla.
3. Velocidad de tratamiento: en donde se tomó en consideración el tiempo que dura una planta para absorber fluidos, resultados presentados en la tabla 9
- Materiales: en la selección de los elementos que comprenderían la estructura del biofiltro, se tomó en consideración que fueran materiales flotantes (plástico), que no alterara la composición y que tuvieran alta durabilidad, ya que si el material no es resistente dificultaría el sustento del equipo, es decir que si solo puede durar un periodo de pocos meses se elevaría significativamente los costos del tratamiento del agua. Por lo cual se evaluaron sus características como:
  1. Sus propiedades: resistencia, flexibilidad, resistencia al calor.
  2. Disponibilidad: que se encuentre el material en la zona donde se va a fabricar.
  3. Sus propiedades químicas: corrosión y oxidación.
  4. Propiedades físicas: flotabilidad y peso.

Con base a estos criterios se determinaron los materiales que serían útiles cuando se realice la construcción del diseño del biofiltro.

**Tabla IV-13.** Materiales.

<b>Materiales</b>	<b>Disposición del material</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Flexibilidad</b>	<b>Resistencia al calor</b>	<b>Corrosión</b>	<b>Oxidación</b>	<b>Flotabilidad</b>
Tubos PVC 1-2 pulg	Si	Si	No	Si	No	No	Si
Malla	Si	Si	Si	Si	No	No	Si
Embacé	Si	Si	Si	Si	No	No	Si

**Fuente:** González I, (2018).

Esta tabla muestra los materiales que son esenciales en el momento de realizar la construcción del biofiltro, ya que deben ser flotantes y que no alteren la composición del agua

## **Dimensionar el prototipo de biofiltro flotante según las condiciones presentes en la biolaguna de la estación de flujo Sinco D.**

Se realizó la memoria descriptiva del equipo, en donde se plasmó el desarrollo del diseño del biofiltro flotante modelo ISJ10, el cual está ideado para reforzar el tratamiento de aguas producidas que llegan a las estaciones de flujo; este modelo consta de una unidad de sustentáculo; es aquella que permite mantener en suspensión a la unidad móvil y componentes filtrantes que sirve de soporte a la planta, esta puede ser removida fácilmente y consta de un aro de tubería PVC sin perforaciones, una malla que permite el contacto directo con el medio filtrante y el fluido a tratar, cabe resaltar que permite realizar el mantenimiento (este debe ser cumplido mensualmente para tener mayor eficiencia en la absorción) de forma ergonómica, es decir que ofrece un fácil manejo y comodidad a los Ing. De la estación.

Además se recomienda adaptar el medio filtrante con el efluente a tratar, por lo menos una semana para que no tenga un cambio brusco, de igual forma que sean previamente lavados para eliminar cualquier partículas sólidas que puedan poseer, antes de ser empleadas al biofiltro para no alterar el agua a tratar y reemplazar el medio filtrante cuando estas presenten marchitamiento o descomposición. Por otro lado se tiene que tener en consideración la velocidad del fluido que va a entrar al equipo sea laminar o transitoria.

Simulación: a continuación se presenta el archivo elaborado en las hojas de excel, donde se plasma la remoción de fluidos; esta se encuentra nutrida de los elementos contaminas que tiene los efluentes a la entrada de la biolaguna permitiendo obtener la siguiente data:

**Figura IV-16.** Entrada y Salida de la corriente de fluido al pasar por el biofiltro medio filtrante N°1 Eichhornia Crassipes.

MEDIO FILTRANTE, EICHHORNIA CRASSIPES								
Datos a la entrada del biofiltro			Datos a la salida del biofiltro					
Condiciones	Resultados	Entrada	BIOFILTRO	Salida	Condiciones	Resultados		
Temperatura	34 °C						Temperatura	34 °C
Número de plantas	12						Número de plantas	12
Composición del agua							Composición del agua	
ARSÉNICO	0,5						ARSÉNICO	0,505481417
CROMO	0,02						CROMO	0,019813329
FOSFORO	0,35						FOSFORO	0,294389096
FENOLES	2,38						FENOLES	2,249417497
HIERRO	0,64						HIERRO	0,591093631
NITROGENO	2,8						NITROGENO	2,547500778
PLOMO	0,05				PLOMO	0,048886404		
Tasa de flujo	132.500 MBAPD				Tasa de flujo	132.500 MBAPD		

Fuente: González I, 2018.

**Figura IV-17.** Continuación del Medio filtrante N°1, salida del fluido al pasar por el biofiltro.

Cálculos de remoción de contaminantes al ingresar al biofiltro																
Datos de entrada			Datos del medio filtrante			Remoción										
Condiciones			Condiciones													
Temperatura	34 °C	Volumen de la Biopantia	7800 m³	Temperatura	34 °C	m³										
		Profundidad	1,8 m	Número de plantas de	837 kg/m³	0,0210675								Volumen de salida		
Volumen de agua entrante	21067,5	Área de la Biopantia	8000,0 m²	Tiempo de residencia	1,00									20928,3825		
Volumen de tratamiento por	2,8															
Composición del agua		Masa (Kg)	masa	Contaminante	Capacidad de remoción por planta	Remoción en mg/planta*dia	Capacidad de remoción según TE	Relación entre Cont. entrada/Cont. permitida	Umbral de concentración permitida	Masa a remover	Nº Plantas necesarias para el	Me	Masa remorida	Maso	Masa de salida	Concentración de salida
ARSÉNICO	0,5	0,013 kg	0,00085	ARSÉNICO	0,002 mg/L	0,006 mg	0,006 mg	1	0,5	0,006 mg	212,188843	237,798	0,000 kg	237,798 kg	0,013 kg	0,505 mg
CROMO	0,02	0,000 kg	0,00002	CROMO	0,004 mg/L	0,010 mg	0,010 mg	0,01	2	0,010 mg	138,499773	237,798	0,000 kg	237,798 kg	0,0004 kg	0,020 mg
FOSFORO	0,35	0,001 kg	0,00035	FOSFORO	0,5	3,484 mg	3,484 mg	0,035	10	3,484 mg	18,8493369	237,792	0,001 kg	237,796 kg	0,006 kg	0,354 mg
FENOLES	2,38	0,030 kg	0,00239	FENOLES	1,174 mg/L	3,287 mg	3,287 mg	4,76	0,5	0,04 kg	0,38318986	237,833	0,003 kg	237,786 kg	0,047 kg	2,249 mg
HIERRO	0,64	0,013 kg	0,00064	HIERRO	0,5	3,400 mg	3,400 mg	0,064	10	3,400 mg	19,9676176	237,798	0,001 kg	237,786 kg	0,012 kg	0,632 mg
NITROGENO	2,8	0,059 kg	0,00282	NITROGENO	2,93	7,084 mg	7,084 mg	0,07	40	7,084 mg	18,7335769	237,833	0,006 kg	237,786 kg	0,053 kg	2,548 mg
PLOMO	0,05	0,001 kg	0,00005	PLOMO	0,015	0,042 mg	0,042 mg	0,1	0,5	0,042 mg	33,2480792	237,797	0,000 kg	237,786 kg	0,001 kg	0,049 mg
			0,142 kg	Absorción de Agua por la planta	0,3 L											
			12982184	Densidad del Agua	999 kg/m³											
			20990264 m³	Absorción de Agua por la planta	0,28 kg											

Fuente: González I, 2018.

**Figura IV-18.** Entrada y Salida de la corriente de fluido al pasar por el biofiltro medio filtrante N°2 (Pistia Stratiotes).

MEDIO FILTRANTE, PISTIA STRATIOTES					
Datos a la entrada del biofiltro			Datos a la salida del biofiltro		
Variables	Resultados	BIOFILTRO		Variables	Resultados
		Entrada	Salida		
Temperatura	34 °C			Temperatura	34 °C
Número de plantas	9			Número de plantas	9
Composición del agua				Composición del agua	
Cadmio	0,002			Cadmio	0,628059723
Cromo	0,02			Cromo	0,035988522
Fósforo	0,35			Fósforo	2,798428911
Hierro	0,64			Hierro	0,047970677
Magnesio	0,06			Magnesio	132,6263417
Nitrógeno	2,8			Nitrógeno	-0,052369635
Plomo	0,05			Plomo	-0,172819796
Tasa de flujo	132.500 MBAPD			Tasa de flujo	132.500 MBAPD

Fuente: González I, 2018.

**Figura IV-19.** Continuación del Medio filtrante N°2, salida del fluido al pasar por el biofiltro.

Cálculos de remoción de contaminantes al ingresar al biofiltro																
Datos de entrada				Datos del medio filtrante				Remoción								
Condiciones				Condiciones												
Temperatura	34 °C	Volumen de la Biología	7800 m³	Temperatura	34 °C	m³										
		Profundidad	1,5 m	Número de plantas/ciclo	787 kg/m³	0,0210675						Volumen de salida	21030,95363			
Volumen de agua entra	21067,5	Área de la Biología	8000,0 m²	Tiempo de residencia	1,00											
Volumen de tratamiento	2,8															
Composición del agua		Masa (Kg)	*masa	Contaminante	Capacidad de remoción por planta	Remoción en mg/planta*dia	Capacidad de remoción según TR	Relación Conc. entre/Conc. permitida	Límite de concentración permitida	Masa a remover	Nº Plantas necesarias para el proceso	Masa	Masa removida	Masa	Masa de salida	Concentración de salida
Cadmio	0,640 MG/L	0,021 Kg	0,00064	Cadmio	0,932 MG/L	0,342 mg	0,342 mg	3,2	0,2	----	1,528923066	27,406	0,000 Kg	27,399 Kg	0,013 Kg	0,628 mg
Cromo	0,040 MG/L	0,001 Kg	0,00006	Cromo	0,230 MG/L	0,644 mg	0,644 mg	0,03	2	----	0,690307658	27,394	0,001 Kg	27,393 Kg	0,001 Kg	0,036 mg
Fósforo	3,800 MG/L	0,089 Kg	0,00282	Fósforo	0,650 MG/L	0,140 mg	0,140 mg	0,28	10	----	108,7541809	27,492	0,000 Kg	27,393 Kg	0,089 Kg	2,798 mg
Hierro	0,650 MG/L	0,001 Kg	0,00009	Hierro	0,400 MG/L	0,086 mg	0,086 mg	0,008	10	-0,21 Kg	499,932388	27,394	0,000 Kg	27,393 Kg	0,001 Kg	0,048 mg
Magnesio	192,500 MG/L	2,791 Kg	0,13324	Magnesio	0,450 MG/L	1,260 mg	1,260 mg	66,25	2	-----	-1,768780903	30,183	0,001 Kg	27,393 Kg	1,790 Kg	132,626 mg
Nitrógeno	0,000 MG/L	0,000 Kg	0,00000	Nitrógeno	0,500 MG/L	1,400 mg	1,400 mg	0	40	-----	75,98938892	27,392	0,001 Kg	27,393 Kg	-0,001 Kg	-0,052 mg
Plomo	0,000 MG/L	0,000 Kg	0,00000	Plomo	1,450 MG/L	4,620 mg	4,620 mg	0	0,5	-----	0,10303015	27,389	0,004 Kg	27,393 Kg	-0,004 Kg	-0,173 mg
		2,896 Kg	0,13681	Absorción de Agua por	0,0 L							787 kg/m³	199 kg/m³	27,393 Kg	2 Kg/m³	136 kg/m³
Agua		20950154,03	1,00000	Densidad del agua	994 kg/m³											
Área del biofiltro	1 m²	20950157 m²		Absorción de Agua por la planta	0,03 Kg											

Fuente: González I, 2018.



**Figura IV-20.** Cálculo global del área del biofiltro.

Medio filtrante	Area total del	Cantida de	tubo in	tubo m	Area M <sup>2</sup>	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DEL BIOFILTRO	
EICHHORN	1,2	12	2	0,0508	0,0020268	Medio filtrante	ΣABS
PISTIA STRA		9	1,5	0,0381	0,0011401	EICHHORNIA CRASSIPES	1664,4993
<b>AREA DISPONIBLE DEL BIOFILTRO POR EL MEDIO</b>						PISTIA STRATIOTES	27,392934
						CAP. TRTAMIENTO	1691,8923
						<b>FLUJO A TRATAR</b>	
Medio filtrante	AD					AREA DEL BIOFILTRO	UNIDAD
EICHHORNIA CRASSIPES	1,175678041					1,2	M <sup>2</sup>
PISTIA STRATIOTES	1,189739174					FLUJO DE LA BIOLAGUNA	UNIDAD
ADT	2,365417215					21,06550391	MM <sup>3</sup> APD
						FLUJO TRATADO	0,0569652

**Fuente:** González I, 2018.

La simulación permitió obtener el área disponible del biofiltro, al mismo tiempo se evaluaron las propiedades de remoción de cada medio filtrantes en los cuales se obtuvieron valores negativos, ya que hay menos concentración de contaminantes y la planta posee mayor capacidad de absorción; debido a esto se puede denotar que el equipo podría emplearse con mayor concentración de elementos químicos.

#### Matriz de cálculo

Para elaborar el diseño preliminar se necesitaba la cantidad de remoción que tienen los medios filtrantes los cuales fueron previamente mencionados en la tabla IV-11 y la cantidad de especies a emplear, ya que de esto depende el arreglo de la estructura y profundidad; seguidamente se seleccionaron los elementos químicos que contiene el agua de la biolaguna de la estación; permitiendo de éste modo realizar la simulación numérica. Por consiguiente los cálculos para realizar diseño preliminar del prototipo del biofiltro son las siguientes

V: Volumen

Q: Caudal= 132,5 MBAPD

B: Ancho= 0.96m

H: Altura= 1m

L: Largo= 1,20m

- Cálculo total del área del biofiltro (forma de rectángulo)

$$\text{Áreatotal} = L * H \quad \text{Ec. (IV-1)}$$

$$\text{Áreatotal} = L * H = 1,20m * 1m = 1,20m^2$$

- Cálculo del volumen total del biofiltro

$$V = L * B * H \quad \text{Ec. (IV-2)}$$

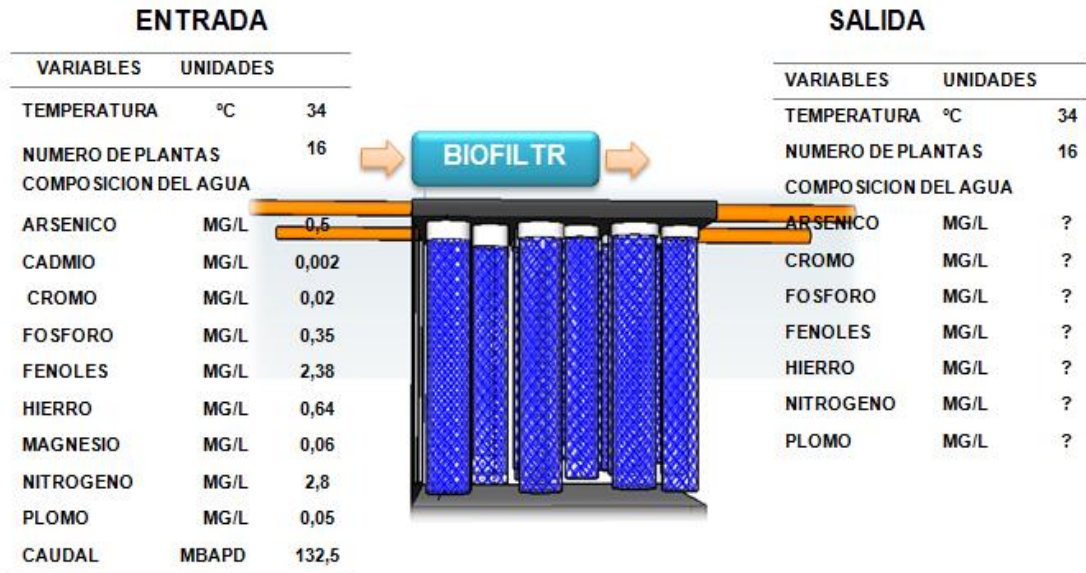
$$V = L * B * H = 1,20m * 0,96m * 1m = 1,15m^3$$

Estas fórmulas manifiestan el dimensionamiento de la estructura del biofiltro preliminar.

- Cálculos de remoción del biofiltro

Se procedió a realizar el cálculo matemático, para obtener la capacidad de remoción que poseen las plantas, tomando en consideración los límites de concentración permitidas. Cabe resaltar que el único elemento que no se encontraba dentro de los parámetros establecidos en el Decreto 883, son los fenoles.

**Figura IV-21.** Proceso de biofiltración.



**Fuente:** González I, 2018.

Estas tablas muestran las variables seleccionadas de la composición de la corriente de fluido a la entrada de la biolaguna antes de ingresar al biofiltro, antes de realizar el procedimiento de datos se tiene que tener en cuenta que los componentes deben estar en unidades de masa, como se indica en la presente tabla.

**Tabla IV-14.** Composición del fluido en masa.

Composición del agua	Masa (Kg)	<sup>a</sup> masa
ARSÉNICO	0,5	0,011 Kg
CROMO	0,02	0,000 Kg
FOSFORO	0,35	0,007 Kg
FENOLES	2,38	0,050 Kg
HIERRO	0,64	0,013 Kg
NITROGENO	2,8	0,059 Kg
PLOMO	0,05	0,001 Kg
		0,142 Kg
Agua		20950154

**Fuente:** González I, (2018).

Donde la cantidad del agua se adquirió mediante la tasa de fluido por la densidad, ya que se consideró que era un cuerpo totalmente homogéneo, por lo cual a través de su temperatura se obtuvo la densidad de 994 Kg/m<sup>3</sup>

- Balance Global: cálculo de la corriente de salida.

$$M_e: M_{abs} + M_s \quad \text{Ec. (IV-3)}$$

Dónde:

$M_e$ : masa de fluido de entrada (kg)

$M_{abs}$ : masa de agua (kg).

$M_s$ : masa de fluido saliente (kg)

$$\rho: \frac{M}{V}; M: \rho * V \quad \text{Ec. (IV-4)}$$

Dónde:

$\rho$ : Densidad ( $\frac{Kg}{m^3}$ ).

$V$ : volumen del fluido  $m^3$

$M$ : masa del fluido (Kg).

Se integra la ecuación (4) en la (3), generando como resultado que la ecuación quede de la siguiente manera:

$$V_e * \rho_e: M_{abs} + V_s * \rho_s$$

Dónde:

$V_e$ : Volumen del fluido a la entrada de la biolaguna. (Kg)

$\rho_e$ : Densidad del fluido a la entrada ( $\frac{Kg}{m^3}$ ).

$V_s$ : Volumen de fluido a la salida (Kg).

$\rho_s$ : Densidad del fluido a la salida ( $\frac{Kg}{m^3}$ ).

$$M_{abs}: V_{abs} * N_p * \rho_e \quad \text{Ec. (IV-5)}$$

Dónde:

$V_{abs}$ : Volumen de agua absorbida por planta.

$N_p$ : número de plantas.

Se agrega la ecuación (5) en (4).

$$V_e * \rho_e = (V_{abs} * N_p * \rho_e) + V_s * \rho_s \quad \text{Ec. (IV-6)}$$

Como el fluido se considera de forma homogénea, es decir que tienes la misma concentración en todo el sistema, se considera que la densidades son constantes ( $\rho_e = \rho_s$ ), permitiendo que se simplifique la ecuación.

$$V_e = (V_{abs} * N_p * \rho_e) + V_s \quad \text{Ec. (IV-7)}$$

BALANCE EN COMPONENTE:

$$m_e: m_{abs} + m_s \quad \text{Ec. (IV-8)}$$

$$V_e * C_e = (N_p * CRP * V_e) + V_e * C_{sf} \quad \text{Ec. (IV-9)}$$

Dónde:

$C_e$ : La concentración del componente en el fluido (Kg).

CRP: Capacidad de remoción por parte de los medios filtrantes.

$C_{sf}$ : Límite de concentración permitida (Decreto 883, Art: 10).

De la ecuación (7) de Balance Global despejamos  $V_s$ .

$$V_s = V_e - V_{abs} * Np \quad \text{Ec. (IV-10)}$$

Esta ecuación se sustituye en la (9), quedando de la siguiente manera:

$$V_e * C_e = (Np * CRP * V_e) + (V_e - V_{abs} * Np) * C_{sf} \quad \text{Ec. (IV-11)}$$

De la siguiente ecuación se despeja Np

$$Np: \frac{V_e * C_{sf} - V_e * C_e}{CRP * V_e + V_{abs} * C_{sf}} \quad \text{Ec. (IV-12)}$$

Cálculo del balance global y en componente:

Se transforma 132,500 MBAPD a litros, dando como resultado 21067,500L.

$$Np: \frac{(21067,500 * 0,5 - 21067,500) \frac{Mg * L}{L} * 0,011kg}{(0,002 * 21067,500 + 0,3 * 0,5) \frac{Mg * L}{L}} = 212,19kg$$

Este procedimiento se realiza para cada componente, generando como resultado 837kg plantas necesarias para remover los elementos

contaminantes en el agua. Seguidamente se realizó el cálculo de la salida de fluido al pasar por el biofiltro.

$$V_s = 21067,500L - 0,3l * 837kg = 20816,4$$

- Cálculo de la cantidad de fluido absorbido

$$M_{abs}: (0,3L * 0,001m^3) * 837kg * 994 kg/m^3: 237,786 Kg$$

- Masa de fluido entrante:

$$M_e: 237,786 kg + 0,011kg = 237,796kg$$

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la remoción global en la tabla IV-15, en la cual se muestra los valores conseguidos antes y después que pase por el biofiltro; al salir del equipo se denota la cantidad de remoción por parte de los medios filtrantes.

Igualmente se muestra la tabla IV-16 y 17, la cual muestra la cantidad de remoción que tienen los medios filtrantes con cada elemento. Permitiendo de esta manera demostrar la disminución de la concentración luego de pasar por el biofiltro.

**Tabla IV-15. Balance Global.**

<b>MEDIO FILTRANTE EICHHORNIA CRASSIPES</b>				
	<b>ME</b>	<b>MS</b>	<b>UNIDADES</b>	
Variables	-	-	-	
<b>ARSÉNICO</b>	237,796	0,011	Kg	
<b>CROMO</b>	237,786	0,00041	Kg	
<b>FOSFORO</b>	237,792	0,006	Kg	
<b>FENOLES</b>	237,833	0,047	Kg	
<b>HIERRO</b>	237,798	0,012	Kg	
<b>NITROGENO</b>	237,839	0,053	Kg	
<b>PLOMO</b>	237,787	0,001	Kg	
<b>SUMATORIA TOTAL</b>	1665	0,13	Kg	
MEDIO_FILTRANTE				
<u>PISTIA STRATIOTES</u>				
	<u>ME</u>	<u>MS</u>	<u>UNIDADES</u>	
Variables	-	-	-	
<b>CADMIO</b>	27,406	0,013	Kg	
<b>CROMO</b>	27,394	0,001	Kg	
<b>FOSFORO</b>	27,452	0,059	Kg	
<b>HIERRO</b>	27,394	0,001	Kg	
<b>MAGNESIO</b>	30,183	2,790	Kg	
<b>NITROGENO</b>	27,392	-0,001	Kg	
<b>PLOMO</b>	27,389	-0,004	Kg	
<b>SUMATORIA TOTAL</b>	195	3	Kg	



**Tabla IV-16. Balance en componente.**

<b>MEDIO FILTRANTE EICHHORNIA CRASSIPES</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>REMOCIÓN</b>	<b>Mabs</b>
<b>VARIABLES</b>	-	-	-
<b>ARSÉNICO</b>	994 Kg/m3	0,006 mg	27,393 Kg
<b>CROMO</b>	994 Kg/m3	0,010 mg	27,393 Kg
<b>FOSFORO</b>	994 Kg/m3	1,484 mg	27,393 Kg
<b>FENOLES</b>	994 Kg/m3	3,287 mg	27,393 Kg
<b>HIERRO</b>	994 Kg/m3	1,400 mg	27,393 Kg
<b>NITROGENO</b>	994 Kg/m3	7,084 mg	27,393 Kg
<b>PLOMO</b>	994 Kg/m3	0,042 mg	27,393 Kg

**Fuente:** González I, (2018).

**Tabla IV-17.** Continuación balance en componente.

MEDIO FILTRANTE	DENSIDAD	REMOCIÓN	Mabs
PISTIA STRATIOTES			
VARIABLES	-	-	-
<b>CADMIO</b>	994 Kg/m3	0,342 mg	27,393 Kg
<b>CROMO</b>	994 Kg/m3	0,644 mg	27,393 Kg
<b>FOSFORO</b>	994 Kg/m3	0,140 mg	27,393 Kg
<b>HIERRO</b>	994 Kg/m3	0,056 mg	27,393 Kg
<b>MAGNESIO</b>	994 Kg/m3	1,260 mg	27,393 Kg
<b>NITROGENO</b>	994 Kg/m3	1,400 mg	27,393 Kg
<b>PLOMO</b>	994 Kg/m3	4,620 mg	27,393 Kg

**Fuente:** González I, (2018).

Posteriormente ya realizando todo el procedimiento de remoción que tiene el medio filtrante, se efectúa el cálculo del área disponible que tiene el biofiltro flotante y la capacidad de tratamiento

$$\text{Área disponible} = \text{área}_{total} - (\text{Cantidad de plantas} * \text{área}_{tubo}) \quad \text{Ec. (IV-13)}$$

$$\text{Área disponible} = 1,20M - (12 \text{ plantas} * 0,00202683) = 1,17567804m^2$$

**Tabla IV-18.** Área disponible.

Medio filtrante	AD	$m^2$
EICHHORNIA CRASSIPES	1,17567804	$m^2$
PISTIA STRATIOTES	1,18973917	$m^2$
ADT	2,36541721	$m^2$

**Fuente:** González I, (2018).

Esta tabla muestra los espacios vacíos que tendrá el biofiltro en el cual se podría ajustar empleando más cantidad de medios filtrantes.

- La capacidad de tratamiento que tiene el diseño preliminar del prototipo de biofiltro flotantes, se obtuvo de la siguiente forma:

$$\text{Cap. Trat.} = \Sigma ABS_{\text{mediofiltrante1}} + \Sigma ABS_{\text{mediofiltrante2}} \quad \text{Ec. (IV-14)}$$

$\Sigma ABS$  (Sumatoria de remoción de cada componente) de los medios filtrantes se encuentra en la tabla IV-16 y 17, estos datos fueron extraídos y se presentan en la siguiente tabla, al mismo tiempo va a quedar reflejada la capacidad de tratamiento que tendría el biofiltro, este resultado se manifiestan con signo negativo debido a que los medios filtrantes tienen mayor capacidad de remoción, para la menor cantidad de contaminantes que se encuentran en las aguas de las biolagunas.

**Tabla IV-19.** Capacidad de tratamiento.

Medio filtrante	ΣABS kg
EICHHORNIA CRASSIPES	1664,4993
PISTIA STRATIOTES	27,392934
CAP. TRTAMIENTO	1691,8923

**Fuente:** González I, (2018).

- capacidad de fluido

$$Q_{flujo} = \frac{\text{Área del Biofiltro}}{Q_{fluido de la biolaguna}} \quad \text{Ec. (IV-15)}$$

Esta ecuación es necesario saber la capacidad de fluido tienen las biolagunas la cual es mencionada en el objetivo N° 1 (132,5 MBAPD) y el área del biofiltro que fue previamente calculada, generando como resultado la siguiente tabla.

**Tabla IV-20.** Capacidad de tratamiento.

AREA DEL BIOFILTRO	UNIDAD
1,2	M <sup>2</sup>
FLUJO DE LA BIOLAGUNA	UNIDAD
21,06550391	MM <sup>3</sup> APD
FLUJO TRATADO	0,05696517

**Fuente:** González I, (2018).


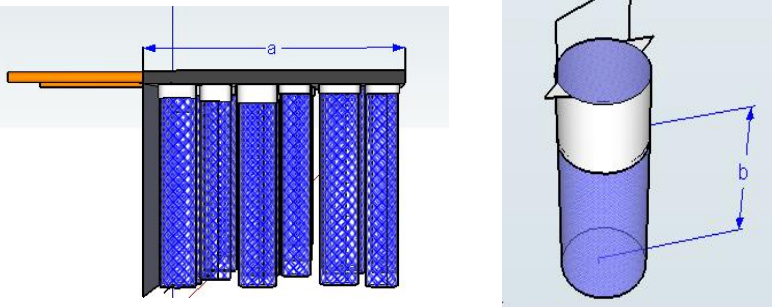
La capacidad de fluido obtenida es solo para un equipo de biofiltro, por lo cual queda plasmado que para un área de 1,20 m<sup>2</sup> el fluido tratado es de 0,057.

En todo caso los resultados anteriores, tienen el objetivo de determinar la funcionalidad del equipo; por lo tanto es importante mencionar que se

elaboró el diseño preliminar del biofiltro tomando como referencia una estructura de plástico para mejorar la flotabilidad del equipo el cual posee una altura de 1 metro, ancho 0,96 metros y longitud de 1,20metro; además en su interior se incorporando unas tuberías de PVC de 1 1/2- 2 pulgadas con una malla por donde va a ir circulando el fluido, este material es donde se incorpora el medio filtrante para obtener una mayor facilidad al momento de realizar el mantenimiento al sistema.

La ficha técnica estable la descripción, permitiendo que este instrumento sea como una guía donde se demuestran las partes que posee y su funcionabilidad. Cabe resaltar que la eficiencia del equipo se realiza de forma anaeróbica y que el paso del fluido cuando va entrando al biofiltro tiene un contacto directo con el medio filtrante, producido por la malla; permitiendo de esto modo realizar el proceso de fitorremediación y realizar la absorción de los compuestos no deseados que tiene el agua. A esta insistencia se demuestra el instrumento realizado:

**Figura IV-22.**Ficha técnica del equipo.

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"</b>					
	<b>FICHA TECNICA EQUIPOS</b>					
Código:	I.S.J.M-045	Versión:	1	Fecha Vigencia:	10/09/2018	
Nombre del Equipo:	Biofiltro Fitorremediador				Foto del Equipo:	
Serie:	1	Modelo:	ISJ10			
Datos Técnicos			Materiales			
Corriente de entrada	tasa de fluido	Tubo PVC	1 1/2" y 2"	Malla	de 9 cm	
Capacidad de tratamiento		-39,3005				
Velocidad de tratamiento		En un día puede absorber 0,335 L				
Área disponible	2,376438102	M <sup>2</sup>				
<b>USOS O APLICACIONES DEL EQUIPO</b>						
<p>El biofiltro esta diseñado para reforzar el tratamiento de efluentes de las estaciones de flujos; pero teniendo en consideracion que el medio faltrante es un organismo vivo y no puede soportar elevadas temperaturas,por lo tanto su aplicación se plantea en las biolagunas.</p>						
<b>DESCRIPCIÓN/MANTENIMIENTO/DISTRIBUIDOR/MANUALES</b>						
<b>DESCRIPCIÓN DEL BIOFILTRO</b>						
<p>Un biofiltro fitorremediador consiste de un organismo vivo que actúa a través de sus raíces secuestrando elementos contaminantes en una corriente de fluido; este equipo consta de dos partes; la fija (a), la cual actúa de sustentáculo para el medio filtrante y la móvil (b), que es el soporte de las macrófitas, este a su vez está comprendido de dos fracciones, un aro de tubería PVC sin perforaciones y una malla que permite el contacto directo con el fluido a tratar, cabe resaltar que el filtro es de doble objetivo, ya que permite la remoción química y eliminación de solidos suspendidos. El proceso puede funcionar bajo condiciones aerobias o anóxicas. El lecho filtrante se colmata progresivamente al momento de ser expuesto lo que permite la absorción; generando de este modo que se reduzcan los elementos tóxicos que afectan a los sere vivos.</p>						
<b>DISEÑO DEL EQUIPO</b>						
<b>RECOMENDACIONES</b>	<p>Se recomienda adaptar el medio filtrante con el efluente a tratar, por lo menos una semana para que esta no tanga un cambio brusco, de igual forma que sean previamente lavados para eliminar cualquier partículas sólidas que puedan poseer, antes de ser empleadas al biofiltro para que no sea alterada el agua a tratar; remplazar el medio filtrante cuando estas presenten marchitamiento o descomposición. Por otro lado se tiene que tener en consideración la velocidad del fluido que va a entrar al equipo sea laminar o transitoria</p>					
<b>MANTENIMIENTO OPERARIO:</b>	<p>El mantenimiento se debe aplicar por lo menos 2 veces al mes, para que el medio filtrante pueda realizar un mejor trabajo.</p>					

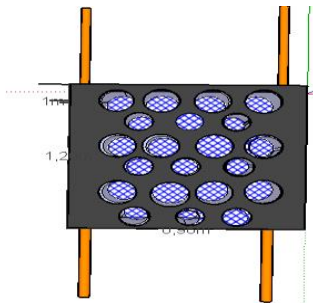
**Fuente:** González I, 2018.

## Planos del biofiltro

Se desarrollaron los planos de la estructura del Biofiltros teniendo en consideración las características del fluido a tratar y el medio filtrante empleado, por lo cual el dimensionamiento de la estructura se refleja de la siguiente manera:

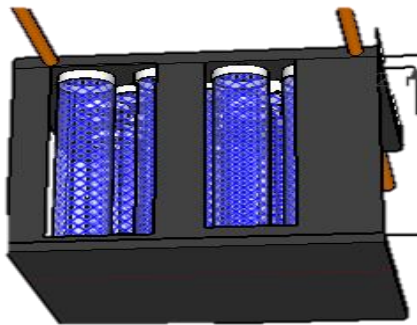
- parte estática: es la parte fija del sistema es un cuadro de plástico con una altura de 1m, longitud de 1.20m, ancho de 0,96m y espesor de 0,10m esta estructura es donde se une la parte móvil el sistema de movilización.

**Figura IV-23.** Vista plana.



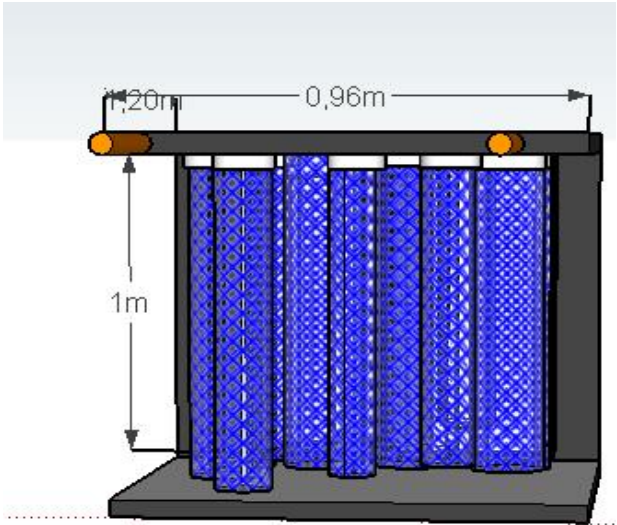
**Fuente:** González I, 2018.

**Figura IV-24.** Vista inferior.



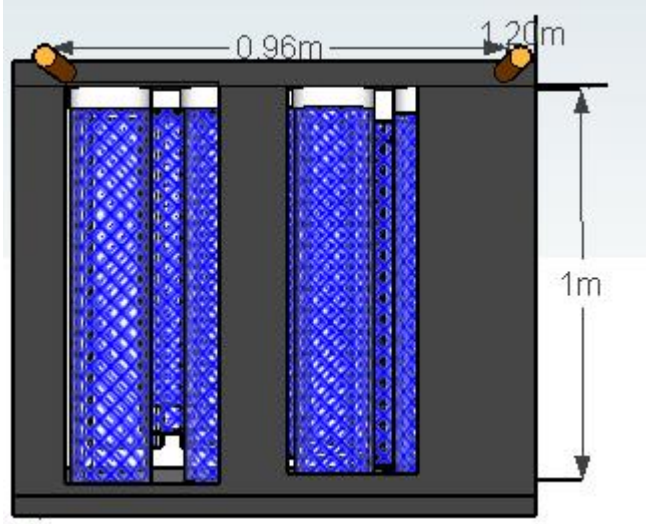
**Fuente:** González I, 2018.

**Figura IV-25.** Vista frontal.



**Fuente:** González I, 2018.

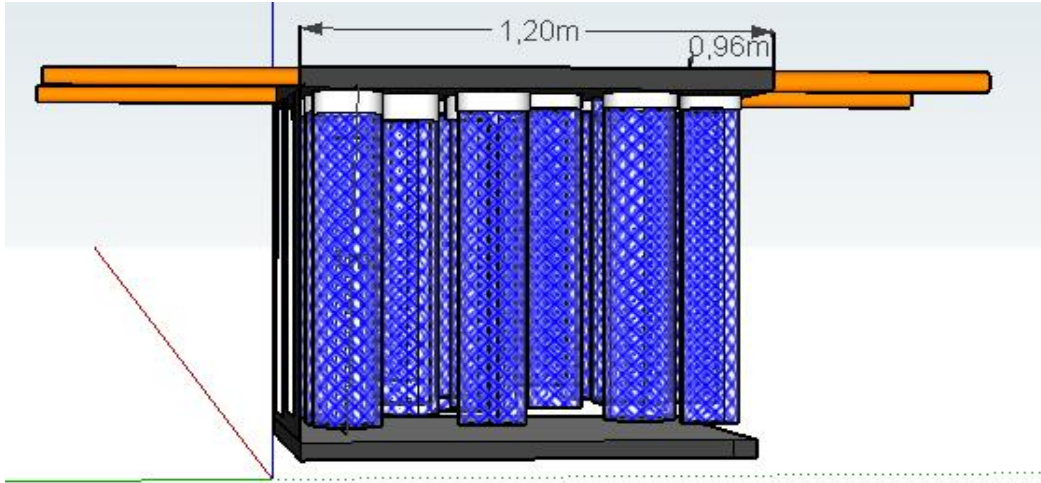
**Figura IV-26.** Vista posterior.



**Fuente:** González I, 2018.

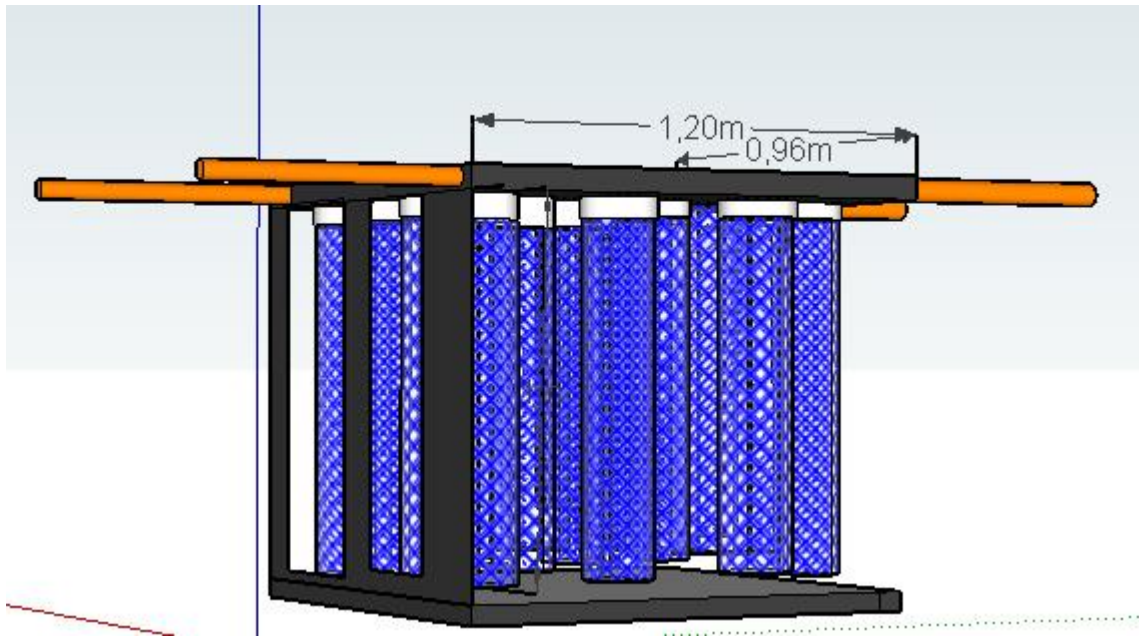


**Figura IV-27.** Vista izquierda.



**Fuente:** González I, 2018.

**Figura IV-28.** Vista isométrica.

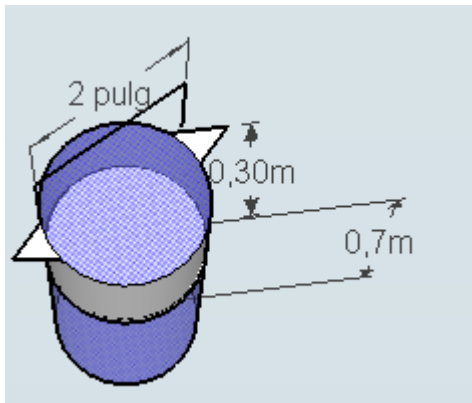


**Fuente:** González I, 2018.

- Parte móvil del equipo: es la que sostiene el medio filtrante y está compuesta de una tubería de pvc de 1 ½" y 2" de una altura de 0,30m<sup>2</sup>, una malla de 9 cm de diámetro de sus aberturas y tiene una

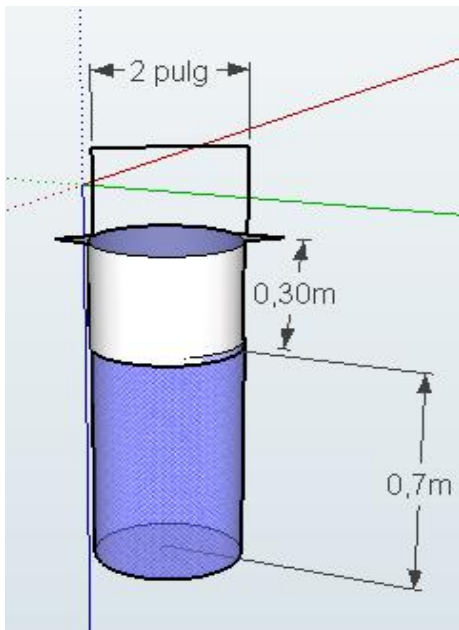
longitud de  $0,7m^2$ , además cuenta con unas orejeras que permite que se sujete a la parte fija del sistema.

**Figura IV-29.** Vista plana.



**Fuente:** González I, 2018.

**Figura IV-30.** Vista izquierda.



**Fuente:** González I, 2018.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

### **CONCLUSIONES**

La concentración de elementos pesados en las aguas producidas es muy riesgosa para la salud de los seres vivos, por lo cual se tienen estación de flujo para realizar el tratamiento de los efluentes, para el área de estudio presenta contaminantes tipo metales pesados, fenoles, sales disueltas, solidos suspendidos, y otros factores que representan potenciales violaciones a las especificaciones planteadas en el Decreto 883, específicamente el Art 10 y exigen acciones técnicas urgentes

Por lo cual, esta investigación se encargó de realizar una simulación numérica, de cómo sería el proceso de remoción de contaminantes cuando la corriente de fluido entra al equipo y como saldría del; este procedimiento se llevó a cabo con las características de los fluidos que llegan a la biolaguna y la capacidad de secuestrar elementos tóxicos por parte de los medios filtrantes a través de la implementación de fórmulas sencillas, lo que dio como resultado que el biofiltro tenga gran capacidad absorción y puede emplearse en cualquier medio contaminado. De igual forma permitió la creación de un archivo en excel que puede ser modificado; por lo tanto se sugiere realizar la construcción del equipo debido a que puede ser usado como medio de filtración en instalaciones de flujo, ya que es una alternativa de solución ecológica y rentable que permite su empleo en climas tropicales.

Por otro lado, en el diseño del biofiltro se plantearon dos medios filtrantes Fito-remediadoras flotantes, ya que representa una alternativa para dar solución al problema de los efluentes contaminantes generados por la actividad de producción de crudos en el estado Barinas, además poseen unas características físicas favorables que ayudan a remover y/o secuestrar contaminantes, cuyas características quedando demostradas en las tablas

del capítulo IV, además estas plantas pueden adaptarse a cualquier entorno donde se expongan, garantizando de esta manera que el biofiltro tenga funcionalidad. Por añadidura, estudios afirman que es mejor utilizar plantas vivas debido a que presentan mayor absorción de elementos contaminantes.

Finalmente El diseño de un proceso de tratamiento biológico por biorremediación exige considerar las condiciones de entrada (propiedades fisicoquímicas del efluente), de las condiciones reológicas del cuerpo de agua, reología del fluido que está en el cuerpo de agua.

## **RECOMENDACIONES**

- Ensayar la aplicación de otras macrócritas flotantes para la determinación de la capacidad de remoción de contaminantes.
- Priorizar la construcción de equipos con materiales flotante para garantizar condiciones de vida para la planta y el funcionamiento de equipo
- Considerar el trabajo de mantenimiento del equipo y los requerimientos de accesibilidad para el trabajo manual aplicando un diseño ergonómico

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- I. Alarcón, J. (2016). *Formulación y diseño de un sistema de fitorremediación para tratamiento de aguas hidrocarburadas en la estación de servicio Biomax*. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario de ascenso público, Universidad de la Salle Facultad de ingeniería, Colombia.
- II. Azcona, M.; Manzini, F. y Dorati, J. Precisiones metodológicas sobre la unidad de análisis y la unidad de observación. aplicación a la investigación en psicología. *Instituto de Investigaciones en Psicología (IniPsi), Facultad de Psicología, Universidad Nacional de La Plata*. ([http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45512/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45512/Documento_completo.pdf?sequence=1)).
- III. Arnold y Col. (2004). Manejo de la producción de agua: De residuo a recurso. *Schlumberger*, volumen 16, ISSUE 2. ([https://www.slb.com/resources/publications/industry\\_articles/oilfield\\_review/2004/or2004\\_sp\\_aut04\\_producciondeaqua.aspx](https://www.slb.com/resources/publications/industry_articles/oilfield_review/2004/or2004_sp_aut04_producciondeaqua.aspx)).
- IV. Bonilla, S. (2013). *Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Ambiental ascenso público. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur.
- V. Bisquerra, R. (1989). *Métodos de investigación educativa: Guía práctica*. (1ed). Barcelona: CEAC.
- VI. Brenes, E. (1999). *Evaluación preliminar de dos tipos de Biofiltros utilizados como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas*. Informe de proyecto final para obtener el grado de licenciado en Ingeniero Civil de ascenso público, Universidad de Costa Rica.

- VII. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (2000, Marzo 24). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 5.453, Marzo, 2000.
- VIII. Camacho, F. & Escalante, B. (2018). *Análisis de las distintas fases de emulsiones agua/crudo en los sistemas de deshidratación, PDVSA división Boyacá, 2018*. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero en petróleo de ascenso no público, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”, Barinas.
- IX. Carpena R. y Bernal M. 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. (URL:[http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=490&Id\\_Categoría=9&tipo=portada](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=490&Id_Categoría=9&tipo=portada))
- X. Carreño, U. (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de agua de curtiembres a través de la *Eichhornia Crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XVIII (2), p 75-80.
- XI. Cubillo, J. (2011). *Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos*. Tesis de maestría presentada a la escuela de postgrados de ascenso público, Facultad de ciencias ambientales Universidad Tecnológica de Pereira.
- XII. Casaño, Celso de la C. (2016). Metodología de la investigación tecnológica en ingeniería. *Revista Ingenium Vol.1 (1) | enero-junio 2016 | ISSN en línea 2519-1403*. Disponible en: (<http://dx.doi.org/10.18259/ing.2016007>).
- XIII. Díaz, D. (2017). Alrededor de 75% de las aguas servidas de Venezuela no son tratadas. Globovisión, Venezuela.

(<http://globovision.com/article/alrededor-de-75-de-las-aguas-servidas-de-venezuela-no-son-tratadas>).

- XIV. Diez, A. and Schnoor J. (2001). Advances in Phytoremediation. Environmental Health Perspective. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, Iowa City, USA. Vol 109.
- XV. El-Sheikh M., Saleh H., El-Quosy D. and Mahmoud A., 2010. Improving water quality in polluted drains with free water surface constructed wetlands. Ecological Engineering. Vol. 36. Pag. 1478 –1484.
- XVI. Emeka P., 2008. Hydrocarbon removal with constructed wetlands: Design and operation of experimental hybrid constructed wetlands applied for hydrocarbon treatment, and application of an artificial neural network to support constructed wetlands optimization and management. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. University of Edinburgh.
- XVII. EPA, 2000. Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales: Humedales de Flujo Subsuperficial. Office of Water. Washington DC, United States
- XVIII. Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Observación Medioambiental*. P 301-305.
- XIX. Fidas, Arias. (2012). El proyecto de investigación (6ed). (p 23-74). Caracas: Editorial Episteme, c.a.
- XX. Fernández, P. (2014). Los macroproyectos de investigación: una estrategia para la formación de docentes investigadores. *Actualidades Pedagógicas* (63), 117-131.
- XXI. Fullana, Carmen. Urquía, Elena. (s/f). Los Modelos de Simulación: Una Herramienta Multidisciplinar de Investigación. Documento electrónico, disponible en:

([http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA32/Carmen\\_Fullana\\_Belda\\_y\\_Elena\\_Urqu%C3%ADa\\_Grande.pdf](http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA32/Carmen_Fullana_Belda_y_Elena_Urqu%C3%ADa_Grande.pdf).)



- XXII. Gessner T., Kadlec R. and Reaves R., 2005. Wetland remediation of cyanide and hydrocarbons. Ecological engineering. Vol. 25. Pag. 457 – 469.
- XXIII. GREENPEACE, d. d. (2010). Greenpeace Colombia. Recuperado el 27 de 12 de 2015, de Greenpeace Colombia:  
  
(<http://www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/contaminacion/agua/>).
- XXIV. Guendy Ghobrial. (2008). INSIInet Publication. Recuperado el 13 de 01 de 2016, de Australian Journal of Basic and Applied Sciences:  
  
([https://www.researchgate.net/profile/Mary\\_Ghobrial/publication/228648849\\_Pigments\\_and\\_Moisture\\_Contents\\_in\\_Phragmites\\_australis\\_\(Cav.\)\\_Trin.\\_Ex\\_Steudel\\_Would\\_Be\\_Engines\\_for\\_Monitoring\\_Biodegradation\\_of\\_Petroleum\\_Contaminants\\_in\\_/links/541c47830cf203f155b3d84d.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mary_Ghobrial/publication/228648849_Pigments_and_Moisture_Contents_in_Phragmites_australis_(Cav.)_Trin._Ex_Steudel_Would_Be_Engines_for_Monitoring_Biodegradation_of_Petroleum_Contaminants_in_/links/541c47830cf203f155b3d84d.pdf)).
- XXV. Guendy M., 2008. Pigments and moisture contents in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex steudel, would be engines for monitoring biodegradation of petroleum contaminants in constructed wetlands. Australian Journal of basic and applies Sciences. Pag. 1068 – 1075
- XXVI. Girón, C. (2015). *Determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta Pistia Stratiotes conocida como lechuga de agua*. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de pregrado en Química Farmacéutica de ascenso público, Universidad Icesi Facultad de Ciencias Naturales, Santiago de Cali.
- XXVII. González, A. (2012). Contaminación ambiental de la industria petrolera. Entre rayas.  
  
(<https://entrerayas.com/2012/03/contaminacion-ambiental-de-la-industria-petrolera/>).
- XXVIII. Garzón, M.; Buelna, M. & Gabriela, E. (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua

residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. III, núm. (3), p 153-155.

(<https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531978011.pdf>).

- XXIX. Gudiño, G. (2017). *Humedales artesanales en lagunas Silvestre B para recuperación de crudo utilizando materiales de reciclaje*. Informe de pasantías para optar por el título de Ingeniero en petróleo de ascenso no público, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”, Barinas.
- XXX. Headley T. and Tanner C., 2007. Floating wetlands may help sink algae. *Water & Atmosphere*. Vol. 15.
- XXXI. Headley T. and Tanner C., 2007. Floating Wetlands for Stormwater Treatment: Removal of Copper, Zinc and Fine Particulates. Prepared by NIWA for Auckland Regional Council. Auckland Regional Council Technical Report TR2008/030.
- XXXII. Hoeger S., 2010. Schwimmkampen Germany's artificial floating islands. *Journal of soil and water conservation*.  
(<http://www.jswnonline.org/content/43/4/304.extract>. 14/01/2010).
- XXXIII. Hernández, L. & Buitrago, O. (2010). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un modelo de tratamiento para las aguas residuales generadas en la producción de panela*. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Civil de ascenso público, Facultad de ingenierías físico-mecánicas, Bucaramanga.
- XXXIV. Hurtado, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. (3ed). Caracas: Fundación sypal.
- XXXV. Hurtado, J.(2008). *El proyecto de Investigación*. (6ed). Ediciones Quirón-Sypal.Caracas.
- XXXVI. Harvery, P. J., campanella B, F., L, C. P., H, H., E, L., R, S. A., & Sureek, S. a.- R. (2002). *Phytoremediation of Polyaromatic Hydrocarbons Anilines and phenols*. *Environmental Science and Pollution*, p23 – 47.

- XXXVII. Ingeniería de petróleo. Instructivo para elaborar el trabajo Especial de Grado. Barinas
- XXXVIII. Kadlec R., 2009. Comparison of free water and horizontal subsurface treatment wetlands. *Ecological engineering*. Vol. 35. Pag. 159–174.
- XXXIX. Kadlec R. and Wallace S., 2009. Treatment wetlands. Second edition. Taylor and Francis Group, ISBN: 987-1-56670-526-4.
- XL. Kamath R., Rentz J., Schnoor J. and Alvarez P., n.d. Phytoremediation of hydrocarboncontaminated soils: principles and applications Department of Civil and Environmental Engineering, Seamans Center, University of Iowa, Iowa City, Iowa, U.S.A. – 52242.
- XLI. Laya, K. & Mejía, J (2818). *Procedimientos empleados para el manejo de efluentes. PDVSA, División Boyacá, Distrito Barinas*. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero en petróleo de ascenso no público, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”, Barinas.
- XLII. Lara, J & Martelo, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, Volumen 8, número 15, p 223-238.
- XLIII. Ley del Plan de la Patria. (2013, Diciembre 4). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 6.118, Diciembre, 2013.
- XLIV. Ley Orgánica del Ambiente. (2006, Diciembre 22). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 5.833, Diciembre, 2006.
- XLV. Maggiolo, R. (2008). *Optimización de la producción mediante análisis nodal*. ESP OIL.
- XLVI. Martelo, J. & Barrero, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencias*, ISSN. 8(15). P 224-238.
- XLVII. Mancilla V. O. R., H. M. Ortega E., C. Ramírez A., E. Uscanga M., R. Ramos B., A. L. Reyes O. 2012. Metales pesados totales y arsénico en

- el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 28 (1): 39-48
- XLVIII. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. (Decreto 883). (1995, Diciembre 18). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 5.021, Diciembre, 1995.
- XLIX. Paris, M. *Fundamentos de ingeniería de yacimientos* (1ed). Maracaibo, Venezuela: Ediciones Astro Data S.A.
- L. Pulido, C. y Peña, L. (2015). Características químicas del agua de producción. *Unidades Tecnológicas de Santander*, Bucaramanga. (<https://prezi.com/88mw9dw0dukq/aguas-de-produccion/>).
- LI. Placencia, W. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies (Pistia Stratiotes l.) y (Limnobium Laevigatum r.) para el tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario del cantón centinela del cóndor, provincia zamora Chinchipe*. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de ascenso público, Universidad Nacional de Loja área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Zamora- Ecuador.
- LII. PDVSA. (2012). Características físico-químicas y bacteriológicas de aguas industriales Estación de flujo Sinco D. *Laboratorio de oxialquilados venezolanos C.A. División de control ambiental*. P 10-14.
- LIII. Reed S., Crites R., and Middle brooks E., 1995. *Natural systems for waste management and treatment*. McGraw Hill second edition.
- LIV. Reyes, J. (2016). *Formulación y diseño de un sistema de fitorremediación para tratamientos de aguas hidrocarbурadas en estaciones de servicio biomax*. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero de Ambiental y Sanitario, Universidad de la Salle Facultad de Ingenieros, Bogotá.
- LV. Romero, T. (2013). Comparación de la eficiencia de biofiltros en la eliminación de gases productores de malos olores en plantas de aguas

residuales. (Resumen). Trabajo de ascenso público, Congreso Internacional de Investigación Academia Journals en Ciencias y Sustentabilidad, Veracruz México, p 756.

(<https://www.uv.mx/veracruz/uvca-277-estulticia/files/2015/03/PonenciaInnovacionCulturaPertenenencialIdentidad.pdf>)

- LVI. Sarango, O. & Sánchez, J. (2016). *Diseño y construcción de 2 biofiltros con Eichhornia Crassipes y Lemna Minor para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora río manso exa s.a. "planta la comuna", quinindé*. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero de Biotecnología Ambiental de ascenso público, Escuela superior politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias, Ecuador.
- LVII. Sabino, C. (1992). El proceso de investigación (1ed). (p 85) Caracas: ed. Panapo.
- LVIII. Slinas, P. (2008). Metodología de la investigación científica (1ed). Mérida, Venezuela: Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes.
- LIX. Stottmeister U., Wiessner A., Kusch P., Kappelmeyer U., Kästner M., Bederski O., Müller R. and Moormann H., 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*, N° 22. Pag. 93 – 117.
- LX. Torres, J. (2009). *Fitorremediación de aguas residuales por hidroponía*. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencia de Ingeniero Ambiental ascenso público, Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de Ingeniería Arquitectura, México DF.
- LXI. United States Environmental Protection Agency, 1998. A Citizen's guide to Phytoremediation. Office of solid waste and emergency response.
- LXII. United States Environmental Protection Agency, 2000. Introduction to Phytoremediation. Office of Research and Development. National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, Ohio 45268.

- LXIII. United States Environmental Protection Agency, 2001. A Citizen's guide to bioremediation. Office of solid waste and emergency response.
- LXIV. UPEL. (2002). Manual de trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. Gatacas 1010, Apartado 2939, Venezuela.
- LXV. Velasquez, W. & Calderon, A. (2018). *Implementación de biofiltro como agente depurador de aguas residuales del conjunto Aranjuez II, en el municipio de Villa Vicencio Meta*. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Civil de ascenso público, Universidad cooperativa de Colombia Facultad de ingeniería, Villavicencio.
- LXVI. Van de Moortel A., 2008. Use of macrophytes mats for treatment of CSOs. Laboratory of analytical chemistry and applied ecochemistry. Ghent University Coupure, Belgium. In: 11th international conference on urban drainage, Edingurgh, Scotland, UK.
- LXVII. Viana, J. Disposición y tratamiento de las aguas producidas. *Arpel Montevideo*, Uruguay.  
(<http://www.ingenieroambiental.com/4000/GUIA%2001%20-%20OK.pdf>).
- LXVIII. Vymazal J. and Kröpfelová L., 2008. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Springer Science. ISBN. 978-1-4020-8579- 6.
- LXIX. Vymazal J., 2009. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. Ecological engineering. Vol. 35. Pag 1–17.
- LXX. Watt, M., & Evans, J. (1999). Proteoid roots physiology and development. *Plant Physiol*, 121, 317 - 323

# ***Anexos***

**Figura V-31.**longitud de las raíces (Bora).



**Fuente:** González I, 2018.

**Figura V-32** (Bora).



**Fuente:** González I, 2018.



**Figura V-33.** peso húmedo de la planta (Bora).



**Fuente:** González I, 2018.

**Figura V-34.** longitud de las raíces (Bora).



**Fuente:** González I, 2018.

**Figura V-35.** peso húmedo de la planta (Repollito de agua).



**Fuente:** González I, 2018.

**Figura V-36.** longitud de las raíces (Repollito de agua).



**Fuente:** González I, 2018.

**Figura V-37.** (Repollito de agua).



**Fuente:** González I, 2018.

**Figura V-38.** Recolección de datos, instrumento 1.

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
OBJETIVOS	INFORMACIÓN REQUERIDA	DOCUMENTOS CONSULTADOS	AUTORES
1	CAUDAL	PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS PARA EL MANEJO DE EFLUENTE, PDVSA, DIVISIÓN BOYACÁ, DISTRITO BARINAS	Laya K & Mejía J
	CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO A LA ENTRADA DE LA BIOLAGUNA	CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE AGUAS INDUSTRIALES ESTACION DE FLUJO SINCO D	PDVSA – División Boyacá
2	CARACTERÍSTICAS DE ABSORCIÓN DE LAS MACRÓFITAS FLOTANTES	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMIADOR DE DOS ESPECIES ( <i>Pistia stratiotes</i> L.) y ( <i>Limnobium laevigatum</i> R.) PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN CENTINELA DEL CÓNDOR, PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE	Willam P.
		DETERMINACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE LOS METALES PESADOS PLOMO, CADMIO Y CROMO EN LA PLANTA <i>Pistia stratiotes</i> CONOCIDA COMO LECHUGA DE AGUA	Girón C.
		"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE 2 BIOFILTROS CON <i>Eichhornia crassipes</i> Y <i>Lemna minor</i> PARA LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE LA EXTRACTORA RÍO MANSO EXA S.A. "PLANTA LA COMUNA", QUININDÉ"	SARANGO O & SÁNCHEZ J

**Fuente:** González I, 2018.

**Figura V-39.** Recolección de datos, instrumento 3.

OBSERVACIÓN NO ESTRUCTURADA			
OBJETIVO	INFORMACIÓN REQUERIDA	DOCUMENTOS CONSULTADOS	AUTORES
2	CRECIMIENTO DE LA PLANTA	ESTE ESTUDIO SE LLEVÓ A CABO EN UN PERIODO DE 4 A 7 DÍAS, PARA SABER LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y LA ABSORCIÓN DEL MEDIO FILTRANTE	González I
	VELOCIDAD DE ABSORCIÓN		

**Fuente:** González I, 2018.

**Figura V-40.**Entrevista, instrumento 2.

Entrevista al ING Henry Briceño		
OBJETIVOS	INFORMACIÓN REQUERIDA	CONTESTACIÓN
2	¿CONSTAN CON TODOS LOS PRODUCTOS PARE REALIZAR EL TRATAMIENTO A LOS FLUIDOS?	La situación económica que está atravesando el país, afectado la adquisición de productos químicos como: desmulsificante, clarificante, por lo cual solo se consta de un solo producto y es el desmulsificante.
	¿CUÁL ES LA TEMPERATURA DE LA BIOLAGUNA?	Se le facilitara un documento que le dará respuesta a estas dos preguntas.
	¿CUÁLES SON LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA?	Dicho archivo fue señalado en el instrumento de recolección de datos.
	¿CUÁLES SON LAS CONDICIONES DE LOS EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA?	Algunos equipos están fuera de servicios por falta de mantenimiento o por una pieza dañada, es por esto que el tratamiento de los fluidos se ve afectado, ahúmas cuando llega al último recorrido, que es a biolagunas, las cuales constan de un sistema de sopladores que le brinda oxígeno a las biomasas (microorganismos que ayudan en la descomposición de fenoles), dicho equipo está fuera de servicio.
	¿TIENEN DEMANDAS POR MAL VERTIDO DE EFLUENTE?	Se tienen dos demandas abiertas por impacto ambiental por mal manejo de efluentes.

**Fuente:** González I, 2018.

**Figura V-41.** Simulación, Instrumento 4.

INSTRUMENTOS EMPLEADOS PARA LA SIMULACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO		
OBJETIVOS	INSTRUMENTOS EMPLEADOS	
3	Hoja de Excel	Permitió realizar la simulación numérica del dimensionamiento del equipo y además especificar la cantidad de elementos que puede remover, dejando la creación de archivo para realizar futuras modificaciones de las condiciones del biofiltro.
	Google SketchUp.8	Permitió realizar los planos del equipo, donde se plantea la estructura y forma. La función del biofiltro depende de su componente móvil para realizar el tratamiento del agua.

**Fuente:** González I, 2018.