

**REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS EN AGUAS USANDO
TECNOLOGÍAS DE FITORREMEDIACIÓN.**

**Irene Saffon Mejía
Universidad Católica de Manizales
Agosto 24 de 2015**

REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS EN AGUAS USANDO TECNOLOGÍAS DE FITORREMEDIACIÓN.

Tabla de contenido

1. CAPITULO. MOTIVACION DEL ESTUDIO.....	3
1.1. Objetivo de esta investigación.....	4
1.1.1. General.....	4
1.1.2. Objetivos Específicos.....	4
2. CAPITULO. ESTADO DEL ARTE DE LA FITOTECNOLOGIA.....	6
2.1. Tratamiento de las aguas residuales provenientes de procesos productivos de hidrocarburos.....	6
2.2. Antecedentes de tecnologías de fitorremediación.....	8
2.3. Revisión de tecnologías de fitorremediación.....	9
2.4. Estudios previos sobre la aplicación de la fitorremediación para la remoción de hidrocarburos.....	13
2.5. Sistema vetiver.....	14
2.5.1. Características especiales de la planta vetiver.....	14
2.5.2. Ecológicas.....	15
2.5.3. Rango de adaptabilidad.....	15
2.6. Humedal de vegetación flotante.....	16
2.6.1. Realización práctica del sistema.....	18
3. CAPITULO. MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1. Diseño invernadero.....	20
3.2. Diseño unidades experimentales.....	21
3.3. Diseño experimental.....	22
3.4. Técnicas análisis muestreo.....	24
3.4.1. SOLIDOS TOTALES.....	24
3.4.2. HIDROCARBUROS.....	25
3.4.3. CARBON ORGANICO TOTAL.....	25
4. CAPITULO. RESULTADOS.....	27
4.1. VISUAL.....	27
4.2. HIDROCARBUROS.....	27
4.3. SOLIDOS TOTALES.....	32
4.4. CARBON ORGANICO TOTAL (COT).....	35
5. CAPITULO 5.CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	38
5.1. Conclusiones.....	38
5.2. Perspectivas.....	39
6. CAPITULO. BIBLIOGRAFIA.....	40

1. CAPITULO. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales más importantes de la actualidad es la contaminación de los ecosistemas acuáticos ocasionado por derrames o vertimientos de hidrocarburos. En este caso las principales consecuencias son la pérdida de calidad, de las características físicas y químicas de las aguas, que por ende conduce a cambios de la dinámica de los ecosistemas, pérdida de biodiversidad, enfermedades, contaminación de aguas superficiales y subterráneas además de afectar los suelos (Navarrete, 2015).

La fitorremediación surge por la necesidad de proporcionar una solución alternativa a la disminución del impacto ambiental negativo generado por los vertimientos de hidrocarburos en diferentes ambientes (agua y suelo), esto usando plantas con un buen nivel de adaptabilidad al contaminante y al ambiente, con el fin de restaurar la calidad ambiental.

Cubillos (2011) afirma que debido al aumento de la demanda de combustibles y a la operación de estaciones de transporte y suministro del mismo, los compuestos derivados del petróleo se han convertido en sustancias con un alto interés tanto ambiental como de salud pública, dado su nivel de toxicidad y de persistencia en el ambiente.

Los vertimientos de aguas mezcladas con combustibles generados durante las actividades diarias en las estaciones de transporte, requieren de tratamientos biológicos como la fitorremediación, que al integrarse al tratamiento convencional, como lo son los separadores de grasas que se implementan a los efluentes generan remociones de los contaminantes en altos porcentajes.

Según Cubillos (2011), la presencia de los combustibles no solo afecta la capa superficial del suelo o las fuentes hídricas superficiales por inadecuada disposición o escorrentía, sino que también se pueden afectar fácilmente las capas freáticas por infiltración, modificando las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas, lo que finalmente genera impactos ambientales secundarios. En términos generales, se puede decir que la velocidad de acumulación es mayor a la capacidad que tiene el

planeta para remover estos compuestos orgánicos xenobióticos¹ López S. et al, 2005).

Desde este contexto, se ha propuesto establecer técnicas y tecnologías alternativas que aborden la problemática generada tras la operación de las estaciones de transporte de combustibles, de manera que se proporcione una solución económica, eficiente, y viable para la remoción de contaminantes de hidrocarburos dispuestos en cuerpos hídricos (Cubillos, 2011).

En el país, los residuos líquidos y sólidos contaminados con hidrocarburos y aceites, son considerados como residuos peligrosos según el anexo I y II numeral nueve del convenio de Basilea que fue aprobado por la ley 253 de 1996 (Cuervo, 2011). Lo anterior genera grandes preocupaciones en la regulación de los vertimientos por estaciones de bombeo de hidrocarburos. Las consecuencias más preocupantes son la afectación a los humanos y, ya que se trata de residuos peligrosos, la aplicación de tratamientos que aseguren la reducción al mínimo del impacto ambiental de los efluentes que retornan al ambiente.

Por medio del estudio realizado con prototipos de humedales de vegetación flotantes ó filtros de macrófitas flotantes se pretende analizar la posibilidad de utilizar estos como un tratamiento terciario posterior a un separador API²

1.1. Objetivo de esta investigación

1.1.1. General

Evaluar la posibilidad de remover hidrocarburos presente en agua residual sintética, por medio de tecnologías de Fitorremediación.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar hidrocarburos en aguas, por medio de pruebas de laboratorio.
- Analizar y definir esquemas de remoción de hidrocarburos.
- Evaluar la eficiencia de remoción de hidrocarburos para el tratamiento aplicado.

¹ Xenobióticos: Se aplica a los compuestos cuya estructura química en la naturaleza es poco frecuente o inexistente debido a que son compuestos sintetizados por el hombre en el laboratorio. Tomado de:

² Separador API: tecnología utilizada para separar hidrocarburos de aguas, por medio de la diferencia de densidades de los líquidos, ya que estos dos son inmiscibles entre sí. Diseñado por el American petroleum institute (API).

- Establecer la viabilidad de implementación industrial de las técnicas y procedimientos desarrollados.

2. CAPITULO. ESTADO DEL ARTE DE LA FITOTECNOLOGIA

2.1. Tratamiento de las aguas residuales provenientes de procesos productivos de hidrocarburos.

La industria petrolera produce 455.28 millones de barriles en la semana (AIE, 2015), es por esta cantidad de producción que uno de los factores más importantes para bajar los costos es el tratamiento de aguas de una manera eficaz y efectiva.

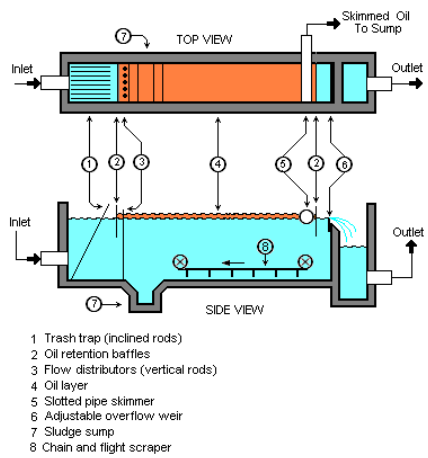
El agua afecta todos los aspectos de una industria de hidrocarburos, desde el campo de extracción, transporte y venta del mismo, es así que el costo de vertimiento de esta agua es alto por sus niveles de contaminación y otros factores de manejo.

El tratamiento del agua en estos casos se realiza por medio de un separador API³ (Imagen 2.1.1), al cual llegan las aguas utilizadas en el proceso productivo. El funcionamiento de este es muy sencillo, la separación se realiza por medio de diferencia de densidades de los líquidos, en el fondo de éste se encuentran los sólidos, las grasas y los aceites flotarán, la retención de estos lo realiza un rodillo desnatadora como se observa en la imagen 2.1.2, una vez acumulados en forma de nata o pequeña capa, es recolectado y es conducido a un tanque alterno del cual se utiliza posteriormente. (Pinzón, 2007).

En una empresa enfocada a el área de hidrocarburos en la ciudad de Manizales, Caldas, no se le realiza ninguna clase de pre tratamiento a el agua ni un tratamiento terciario, este solo se enfoca en el tratamiento con el separador API.

³ Separador API: tecnología utilizada para separar hidrocarburos de aguas, por medio de la diferencia de densidades de los líquidos, ya que estos dos son inmiscibles entre sí. Diseñado por el American petroleum institute (API).

Imagen 2.1.1: Separador API.



(Robinson, 2013)

Imagen2.1.2: Separador API y tanque alterno.

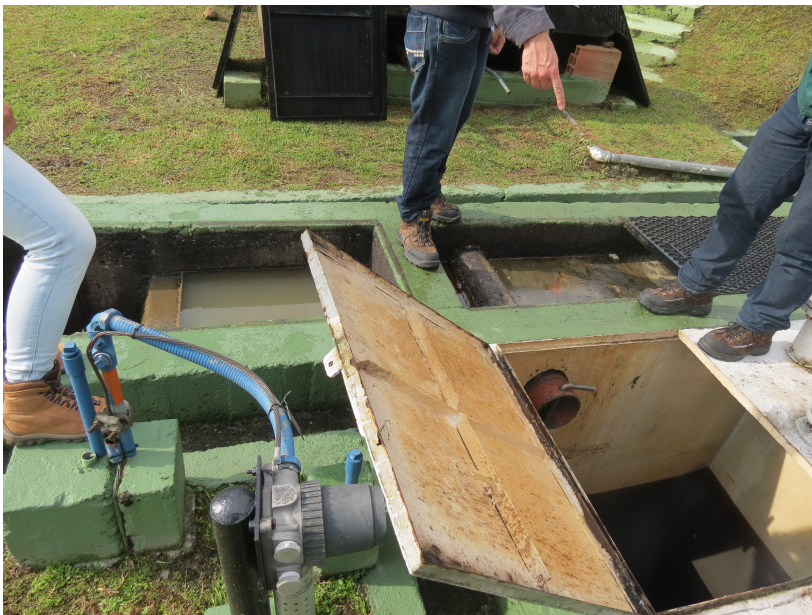


Foto tomada de separador API en la empresa Ecopetrol S.A, Manizales caldas (2014).

2.2. Antecedentes de tecnologías de fitorremediación

Según Rai y Pal (1999), la idea básica de que las plantas se pueden utilizar para la remediación ambiental es bastante antigua. Sin embargo, no fue hasta 1948 que algunos investigadores italianos informaron por primera vez que la serpentina italiana (*Alyssum bertolonii*), una planta endémica de Italia, actuaba como hiperacumuladora de níquel, un metal pesado.

Rai y Pal (1999) afirman que posterior a este hallazgo, en 1977 el investigador Robert Richard Brooks llamado "el padrino de la fitorremediación", de la Universidad de Massey en Nueva Zelanda, realizó investigaciones sobre el uso de plantas semi-acuáticas para el tratamiento de aguas contaminadas. En su estudio utilizó plantas como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), la lenteja de agua (*Lemna minor*) y el terciopelo de agua (*Azolla pinnata*), demostrando que éstas pueden hiperacumular varios metales como plomo, cobre, cadmio, hierro y mercurio. Esta capacidad se utiliza actualmente en los sistemas de fitorremediación, que pueden ser eficaces en la eliminación de algunos metales pesados, al igual que compuestos orgánicos, como los compuestos complejos de los hidrocarburos. Aunque en principio los investigadores del Reino Unido mostraron interés en estas plantas, Chaney fue el primer científico estadounidense en publicar su informe "Hyperaccumulator plants potential as toxic site cleaners" (Chaney. 1999).

El término fitorremediación surgió en los años 90's a partir de las investigaciones realizadas con humedales artificiales (construidos) para la remediación de ambientes contaminados con hidrocarburos y metales pesados con plantas usadas en la agricultura (EPA, 2000).

Según Bock et al., (2002), durante los últimos años, la fitorremediación ha sido rigurosamente investigada, con el fin de entender los procesos metabólicos de los compuestos orgánicos e inorgánicos por parte de las plantas, debido a que la complejidad del sistema metabólico de las plantas implica una serie de procesos que dependen de los mecanismos que ocurren en su interior.

Gracias al eficiente desempeño de la fitorremediación, empresas a nivel mundial han comenzado a financiar proyectos y actualmente, decenas de laboratorios en el mundo académico y la industria están llevando a cabo trabajos de fitorremediación a gran escala (Gupta. 2015)).

Los estudios realizados en este tema están en aumento en los últimos 10 años, lo cual se ve reflejado en la siguiente

vigilancia de tecnologías, la cual se observa en la tabla 2.2.1, observando numero de publicaciones en cada uno de los años.

Tabla 2.2.1: Vigilancia de tecnologías

Base de datos	Año	Numero de publicaciones	
Sciencedirect	2005	75	
	2006	61	
	2007	57	
	2008	83	
	2009	78	
	2010	72	
	2011	93	
	2012	95	
	2013	108	
	2014	124	
	2015	105	
	ACS Publications	2005	3
		2006	1
		2007	1
		2008	1
2009		2	
2010		1	
2011		2	
2012		1	
Scielo	2010	2	
	2013	1	

2.3. Revisión de tecnologías de fitorremediación

La fitorremediación ha sido ampliamente investigada con el fin de entender los procesos de captación y metabolismo de los compuestos orgánicos e inorgánicos por parte de las plantas (Cubillos, 2011), ya que según Cubillos (2011), la complejidad del sistema implica una serie de procesos que dependen de los mecanismos que ocurren en su interior, puesto que durante la fotosíntesis las plantas llevan a cabo la incorporación de la biomasa y la producción de energía. La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos (Delgadillo et al., 2011).

La fitorremediación es definida como una opción tecnológica que ha sido desarrollada y usada para remediar medios impactados con diferentes tipos de contaminantes. Se basa en el uso de plantas y su interacción con los microorganismos que se ubican en la rizósfera⁴, con el fin de remover, transformar, secuestrar o degradar sustancias contaminantes contenidas en el suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas (Susarla et al., 2002). Puede ser empleada para remover metales, pesticidas, solventes, explosivos, aceites derivados del petróleo, hidrocarburos derivados del petróleo, compuestos clorados, lixiviados y compuestos volátiles en el aire (EPA, 1999; Interstate Technology and Regulatory Cooperation, 2001).

Según Delgadillo et al., (2011), algunas plantas tienen la capacidad para metabolizar o acumular compuestos orgánicos como el 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano (DDT), tricloroetileno (TCE), 2,4-diclorofenol, PCB's (policlorobifenilos), explosivos como el trinitrotolueno (TNT) o dinitrotolueno, PAH's (hidrocarburos aromáticos poli cíclicos) y detergentes, como se muestra en la Tabla 2.3.1

Tabla 2.3.1: Ejemplos de plantas que fitodegradan contaminantes orgánicos

Contaminante orgánico	Planta	Efecto
Benzotriazoles	<i>Helianthus annuus</i>	Metabolismo
4-Clorofenol, 2,6-Dimetilfenol naftaleno	<i>Carex gracilis</i>	Remediación
2,4-Diclorofenol	<i>Brassica napus</i>	Remediación
DDT	<i>Brassica juncea</i> , <i>Cichorium intybus</i>	Metabolismo
2,4-Dinitrotolueno	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Metabolismo
Metilterbutiléter	<i>Populus spp</i>	Volatilización
Perclorato	<i>Nicotiana tabacum</i>	Metabolismo
Hidrocarburos de petróleo	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	Remediación
Fenol	<i>Brassica juncea</i> , <i>Raphanus sativus</i> , <i>Azadirachta indica</i> , <i>Beta vulgaris</i>	Remediación
Fenol y cloro fenoles	<i>Daucus carota</i>	Metabolismo
Hexahidro-1,3,5- trinitro-1,3,5- triazina	<i>Populus spp</i>	Metabolismo
TCE	<i>Populus spp</i>	Metabolismo
TNT	<i>Myriophyllum aquaticum</i> , <i>Helianthus annuus</i>	Metabolismo

⁴ RIZÓSFERA: Parte del suelo afectada por las raíces de las plantas.

(Delgadillo A., González C., Prieto F., Villagómez J and Acevedo O., 2011).

Según Thangavel y Subhram (2004), dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del sitio y el nivel de descontaminación requerido, las tecnologías de fitorremediación se pueden utilizar como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización).

Rizofiltración: utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz (Delgadillo., 2011). Las plantas se cultivan de manera hidropónica⁵; cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces absorben y acumulan el contaminante. A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final (Delgadillo et al., 2011). Algunas plantas empleadas para este fin se presentan en la tabla 2.3.2

Tabla 1.3.2: Plantas empleadas en la Rizofiltración

Especie utilizada	Contaminante metálico
<i>Scirpus lacustris</i>	Cd, Cu, Pb, Mg, Fe, Se, Cr
<i>Lemna gibba</i>	Pb, As, Cu, Cd, Ni, Cr, Al, Fe, Zn, Mn
<i>Azolla caroliniana</i>	Hg, Cr, Sr, Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Au, Pt
<i>Elatine trianda</i>	As
<i>Wolffia papulifera</i>	Cd
<i>Polygonum punctatum</i>	Cu, Cd, Pb, Se, As, Hg, Cr, Mn
<i>Myriophyllum aquaticum</i> , <i>Ledwigina palustris</i> , <i>Mentha aquatic</i>	Cu, Zn, Mn, Fe, Ni

(Delgadillo A. 2011).

Fitoestabilización: permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizósfera. Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire. (Barton et al., 2005). Esta tecnología se aplica principalmente en terrenos extensos en donde existe contaminación superficial. Algunas plantas empleadas en este fin se presentan en la tabla 2.3.3

Tabla 2.3.3: Plantas empleadas en la Fitoestabilización

Especie utilizada	Contaminante
--------------------------	---------------------

⁵ Agricultura Hidropónica: método utilizado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en lugar de suelo agrícola. Recuperado de: www.hydroenv.com.mx

<i>Hyparrhenia hirta</i>	Pb
<i>Zygophyllum fabago</i>	Zn
<i>Lupinus albus</i>	Cd, As
<i>Anthyllis vulneraria</i>	Zn, Pb, Cd
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Zn, Pb, Cd
<i>Cardaminopsis arenosa</i>	Cd, Zn
<i>Horedeum vulgare</i> , <i>Lupinus angustifolius</i> , <i>Secale cereale</i>	As
<i>Lolium italicum</i> , <i>Festuca arundinaceae</i>	Pb, Zn
<i>Brassica juncea</i>	Zn, Pb, Cd, Cu, Fe, Mn

(Delgadillo A. 2011).

Fitoimmobilización: provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz, los cuales inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación (Delgadillo et al., 2011).

Fitodegradación: Las plantas y los microorganismos asociados a ellas degradan los contaminantes orgánicos en productos inofensivos, o bien se mineralizan hasta CO₂ y H₂O. En este proceso los contaminantes son metabolizados dentro de los tejidos vegetales y las plantas producen enzimas como la dehalogenasa y la oxigenasa, que ayudan a catalizar la degradación (Singh y Jain, 2003). La fitodegradación se ha utilizado para la remoción de contaminantes como el TNT (Soto. 2015), hidrocarburos halogenados (Cubillos, 2011), pesticidas organolorados y organofosforados (Soto, 2015) (Delgadillo et al., 2011).

Fitoextracción o Fitoacumulación: consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. Algunas de las plantas empleadas en esta situación están presentes en la Tabla 2.3.4

Tabla 2.3.4: Plantas empleadas en la Fitoacumulación

Especie utilizada	Contaminante
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Cd
<i>Sedum alfredit</i> , <i>Viola baoshanensis</i> , <i>Vertiveria zizanioides</i>	Zn, Cd, Pb
<i>Alyssum murela</i> , <i>Trifolium nigriscens</i> , <i>Psychotris douarrei</i>	Ni
<i>Brassica juncea</i> , <i>Helianthus annus</i> , <i>Sesbania drummondii</i>	Pb
<i>Brassica napus</i>	Zn, Pb, Cu
<i>Pistia stratiotes</i>	Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn

(Delgadillo A. 2011).

Fitovolatilización: se produce a medida que los árboles y otras plantas en crecimiento absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera. Algunas de las plantas empleadas para la fitovolatilización se presentan en la Tabla 2.3.5

Tabla 2.3.5: Plantas empleadas en la Fitovolatilización

Especie utilizada	Contaminante
<i>Salicornia bigelovii</i> , <i>Brassica juncea</i> , <i>Astragalus bisulcatus</i> , <i>Chara canescens</i>	Se
<i>Arabidopsis thaliana</i>	Hg

(Delgadillo A. 2011).

2.4. Estudios previos sobre la aplicación de la fitorremediación para la remoción de hidrocarburos

Según Cubillos (2011), las investigaciones y aplicaciones de la fitorremediación para el tratamiento de la contaminación con hidrocarburos se han llevado a cabo desde hace más de 15 años, generando información útil que ha sido empleada para el mejoramiento de los diseños de sistemas de remediación.

Entre los diferentes procesos fisicoquímicos que ocurren durante la fitorremediación, la zona de las raíces desempeña un papel importante en la remediación de hidrocarburos. En su trabajo Cubillos (2011) afirma que "la generación de exudados⁶ proporciona una conexión entre los microorganismos y las plantas generando el efecto rizósfera, sin embargo, el tipo de exudado generado depende del tipo de planta utilizada y otros factores como la cantidad de nutrientes, pH, disponibilidad de las raíces; la actividad de estos factores en conjunto permite la transformación orgánica de los compuestos mediante reacciones químicas catalizadas".

De acuerdo con Cubillos (2011), la rizodegradación puede ser el mecanismo más significativo para la remoción de los hidrocarburos derivados del diésel, ya que los PAHs (Hidrocarburos Aromáticos

⁶ Exudados: Cualquiera de las sustancias secretadas a través de los poros de los tejidos enfermos o dañados de las plantas. Resinas, gomas, aceites y lacas son ejemplos de exudados que se extraen con fines industriales

Policíclicos) por ser hidrofóbicos y por su facilidad de ser retenidos en suelos, disminuye la biodisponibilidad por parte de las macrófitas y su fitodegradación, haciendo que las raíces tenga un mayor contacto con los contaminantes y siendo estas las encargadas de efectúa su remoción.

2.5. Sistema vetiver.

El sistema vetiver, el cual se basa en la utilización del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), fue inicialmente desarrollado por el Banco Mundial para la conservación de suelos y agua en la India a mediados de los años ochenta (the vetiver network, 2015), la investigación y desarrollo que se ha llevado en los últimos veinte años ha demostrado características extraordinarias del pasto, el SV⁷ puede ser usado como técnica de bioingeniería para la estabilización de taludes, la disposición de aguas servidas, la fitorremediación de tierras y aguas contaminadas y otras aplicaciones en protección ambiental. (The vetiver network, 2015)

El sistema de raíces extremadamente profundo y denso amarra el suelo y al mismo tiempo impide que sea separado por flujos de agua de alta velocidad, este sistema de raíces hace que el Vetiver sea muy tolerante a los contaminantes a los que se enfrenta en los procesos de fitorremediación. (The vetiver network, 2015)

Por un lado, la tecnología de humedal construido es simple, practico, económico, sostenible, no es invasivo, tiene un mantenimiento fácil de realizar sin necesidad de un personal capacitado para realizar estas actividades. (The vetiver network, 2015)

El sistema de humedales presenta desventajas como un alto requerimiento de are en comparación con otros sistemas de tratamiento secundarios.

2.5.1. Características especiales de la planta vetiver.

(The vetiver network, 2015)

Morfológicas.

- No tiene estolones ni rizomas funcionales. Su sistema de raíces finas y compactas crece muy rápido, puede alcanzar de

⁷ SV: sistema vetiver

3 y 4 metros de profundidad en el primer año, es extremadamente tolerante a las sequías y difícil de arrancar por fuertes corrientes.

- Tallos firmes y erguidos, se pueden soportar flujos de aguas relativamente profundos
- Muy resistentes a plagas, enfermedades y al fuego.
- Forma una barrera densa cuando es plantado a corta distancia actuando como un filtro efectivo de los sedimentos y como dispersor del agua de escorrentía.

Fisiológicas

- Tolerancia a variaciones climáticas extremas como sequía prolongada, inundaciones, sumersión y temperaturas extremas de -15°C a $+55^{\circ}\text{C}$.
- Habilidad para rebrotar rápidamente después de haber sido afectada por sequías, heladas, salinidad y otras condiciones adversas al mejorar las condiciones del tiempo o añadir correctivos al suelo.
- Tolerancia a un amplio rango de pH desde 3.3 a 15.
- Alto nivel de tolerancia a herbicidas y plaguicidas.
- Alta eficiencia en absorber nutrientes tales como N, P y metales pesados en aguas contaminadas.
- Muy tolerantes a medios de crecimiento altos en acidez, alcalinidad, salinidad, sodicidad.
- Alta tolerancia al Al, Mn y metales pesados tales como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se y Zn en los suelos.

2.5.2. Ecológicas

Aunque presenta altos niveles de tolerancia ya mencionados, como pasto tropical es muy intolerante a la sombra, esta reduce su crecimiento. Por lo tanto el vetiver crece mejor en espacios abiertos, siendo necesario el control de maleza en la etapa de establecimiento. (The vetiver network)

2.5.3. Rango de adaptabilidad

Tabla 2.5.3.1: Rango adaptabilidad pasto Vetiver.

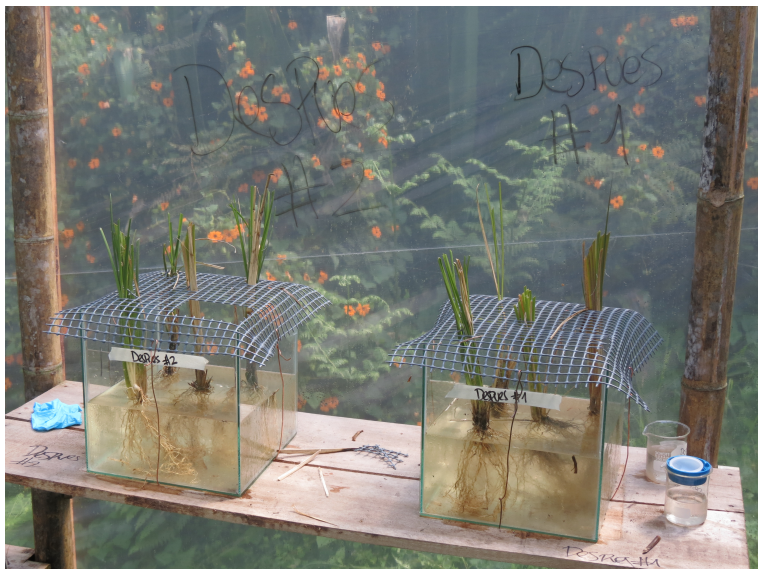
Condiciones	Características	Rango
Suelo adverso		
	Acidez (pH)	3.3 - 14
	Salinidad	4755 mScm^{-1}
	Nivel de saturación con Aluminio	Entre 68% - 87%
	Nivel de manganeso	$> 578 \text{ mgkg}^{-1}$
	Sodicidad	48% (Na intercambiable)
	Magnesianidad	2400 mgkg^{-1} (Mg)
Fertilizante		

	El vetiver se puede establecer en suelos de baja fertilidad debido a su fuerte asociación con micorrizas.	N y P (300 kg/ha FDA)
Metales pesados		
	Arsénico (As)	100 - 250 mgkg ⁻¹
	Cadmio (Cd)	20 mgkg ⁻¹
	Cobre (Cu)	35 - 50 mgkg ⁻¹
	Cromo (Cr)	200 - 600 mgkg ⁻¹
	Níquel (Ni)	50 - 100 mgkg ⁻¹
	Mercurio (Hg)	> 6 mgkg ⁻¹
	Plomo (Pb)	> 1500 mgkg ⁻¹
	Selenio (Se)	> 74 mgkg ⁻¹
	Zinc (Zn)	> 750 mgkg ⁻¹
Clima		
	Precipitación anual (mm)	250 - 5000
	Heladas (temperatura del suelo)	-22°C
	Olas de calor	55°C
	Sequia	15 meses
Valor nutricional		
	N	1.1%
	P	0.17%
	K	2.2%

2.6. Humedal de vegetación flotante.

El sistema vetiver esta construido con un tapiz flotante de vegetación el cual esta formado en la superficie de agua, en el cual el elemento básico son las plantas, sumergidas en el agua. el sistema radicular es el encargado de la remoción de los contaminantes ya que es la zona que esta sumergida, como se puede observar en la imagen 2.6.1.

Imagen 2.6.1. humedal de vegetación flotante, escala investigativa



La zona sumergida de la planta tiene una gran superficie específica⁸, esto dado a el gran numero de raíces , las cuales actúan como soporte de fijación de los microorganismos que degradan la materia orgánica y que fijan los metales y otros elementos, el cual se favorece por el oxigeno que les llega desde las hojas a la raíz de la planta(propiedades especificas de las plantas emergentes⁹ y flotantes¹⁰).

Lo novedoso del sistema se basa en conseguir que las plantas que normalmente están enraizadas en el suelo, se desarrollen en un medio diferente y que lleguen a completar su ciclo vital en este medio (Delgadillo, 2010).

Basándose en estudios anteriores, relacionados a la remoción de hidrocarburos, mas específicamente remoción de fenoles por medio de humedales de vegetación flotante, se pueden observar remociones de alrededor de 89% en los primeros 4 días de estudio y el 100% en 12 días, estos porcentajes siendo a una concentración menor de 200mg/L,

⁸ SUPERFICIE ESPECIFICA: La superficie específica es una medida aplicada a sólidos con granos o partículas. Es el área de superficie por unidad de masa.

⁹ PLANTA EMERGENTES: son plantas anfibas que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo, que presentan una elevada productividad y que toleran bien las condiciones de falta de oxígeno que se producen en suelos encharcados, al poseer canales o zonas de aireación (aerénquima), que facilitan el paso del oxígeno (producido por fotosíntesis) hasta las raíces.

¹⁰ PLANTAS FLOTANTES: Estas plantas tiene la capacidad de crecer flotando libremente en el agua sin necesidad de arraigar

según Eapen. (Eapen, 2007)

Las ventajas que presenta el sistema frente a otros sistemas de tratamiento como lo son FWS¹¹ y el SsF¹² son:

- Mayor economía en la construcción, ya que no lleva ningún tipo de relleno.
- Mejor funcionamiento por no existir resistencia al paso del agua por colmatación del lecho.
- Mayor economía en el mantenimiento, ya que no existe colmatación y por lo tanto no es el mantenimiento periódico que se le debe realizar a un humedal.
- Mayor capacidad de depuración por estar todo el sistema radicular bañado por el agua, teniendo en cuenta que esto depende de diferentes factores como lo son:
 - o Crecimiento.
 - o Adhesión o no adhesión de microorganismos.
 - o Nivel de aireación.
 - o Dirección de flujo.
- Facilidad de cosechar la totalidad de la biomasa formada (incluidas las raíces y rizomas) en los casos en que se quiera eliminar elementos minerales fijados por las plantas o aprovechar la biomasa formada para fines energéticos o industriales.

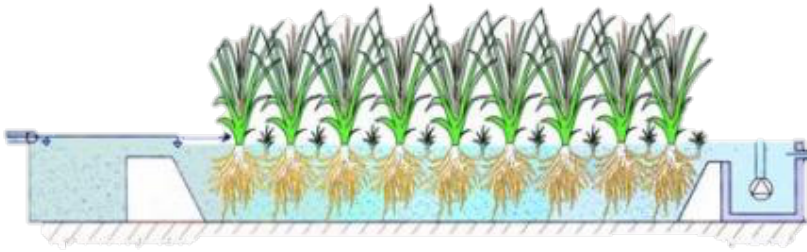
2.6.1. Realización práctica del sistema.

En la práctica el sistema se aplica a partir de unos canales que han sido impermeabilizados para evitar la contaminación de la tierra, por ende evitar contaminación de fuentes hídricas subterráneas. las plantas acuáticas se plantan en la superficie mediante un dispositivo específico, este permite que las plantas crezcan verticalmente y emitir estolones laterales que se entrecruzan con las plantas vecinas para formar un entramado continuo, lo cual se puede ver en la imagen 2.6.2.1. (González, 2006)

¹¹ FWS: humedal de sistema de flujo libre.

¹² SsF: humedal de flujo sub superficial.

Imagen 2.6.2.1. Filtro de macrófitas flotantes.



(Adanes, 2011)

3. CAPITULO. MATERIALES Y METODOS

En la presente investigación, se utilizó un humedal de vegetación flotante a escala de laboratorio a el cual se le otorgo agua residual sintética, el cual fue diseñado como se ve a continuación en el capítulo.

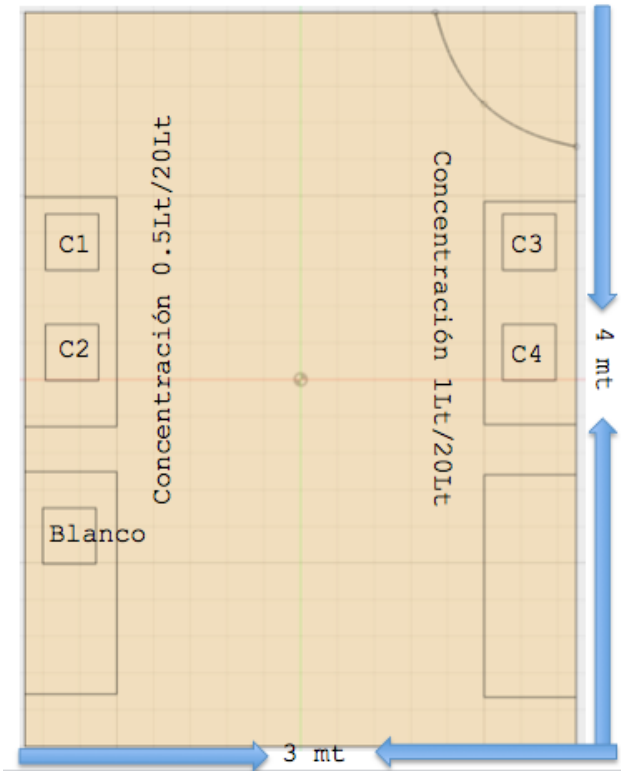
3.1. Diseño invernadero.

se procedió a la construcción de un invernadero, con dimensiones de 3mt X 4mt y altura aproximada de 2mt, el invernadero que se puede observar en la imagen 3.1.1 cuenta con cuatro mesas de trabajo, en las cuales se realizó la disposición de los acuarios como se observa en la figura 3.1.2, lo cual sigue la línea de investigación de un humedal de vegetación flotante, el cual es llevado a una escala de laboratorio.

Imagen 3.1.1 : Invernadero construido para la realización del experimento en predios de la UCM.



Figura 3.1.2: Invernadero.



3.2. Diseño unidades experimentales.

Se procedió a realizar el montaje, se prepararon las peceras con dimensiones de 30 cm X 30 cm X 30 cm y una altura del agua de 20 cm, a las que se les pusieron mallas para en estas sembrar las plantas como se observa en la imagen 3.2.1, se enumeraron los recipientes especificando que clase de agua contenían (tabla 3.2.1). Dos de los acuarios tenían agua con concentración de 1Lt de gasolina y los restantes tenían agua con concentraciones de 0.5 Lt de gasolina. Se puede observar en la imagen 3.2.2, a cada una de las muestras problema se le sembraron 5 plántulas de Vetiver y a la malla se le dejó un hueco para realizar el muestreo.

Tabla 3.2.1: Composición muestras.

Muestras	Vol. de gasolina	% (v/v)
C ₁	0.5 L	2.7%
C ₂	0.5 L	2.7%
C ₃	1 L	5.5%
C ₄	1L	5.5%
Blanco	0	0

Imagen 3.2.1: pecera para montaje.



Imagen 3.2.2 : Montaje.



3.3. Diseño experimental

Se determina que se medirán los hidrocarburos presentes, carbono orgánico total (COT) y los sólidos totales, con diferentes tiempos de medición como se observa en la tabla 3.3.1.

Tabla 3.3.1: Cronograma de muestreo.

HIDROCARBUROS	0 hr	SOLIDOS TOTALES	0 hr	COT	6 hr
	6 días		6 hr		12 hr
	16 días		12 hr		24 hr
			24 hr		4 días
			4 días		6 días
			6 días		8 días
			8 días		10 días
			10 días		12 días
			12 días		14 días
			14 días		16 días
			16 días		

El montaje de las dos clases de agua se realizó como se observa en la tabla 3.3.2, por cada una de las muestras se tienen dos replicas y estas se tratan por medio de un filtro de macrófitas flotantes usando pasto Vetiver.

Tabla 3.3.2: Diseño experimental.

Muestras	% (v/v)
C ₁	2.7%
C ₂	2.7%
C ₃	5.5%
C ₄	5.5%
Blanco	0

Luego de tener el agua en los recipientes se procedió a instalar las plantas, estas procedían de una finca localizada en el municipio de Chinchiná, Caldas, es por esto que estuvieron en un proceso de aclimatación de dos meses en la ciudad de Manizales; en total se tenían 20 plantas, con una edad de 5 meses.

3.4. Técnicas análisis muestreo

La medición de los parámetros fisicoquímicos de las muestras son hidrocarburos, sólidos totales y COT. Estos tres parámetros son representativos para el estudio ya que el COT me representa que tanta presencia orgánica hay en el agua, los sólidos totales representan tanto la materia disuelta y suspendida y esto me indica que tan factible es la retención de estas en las raíces de las plantas siendo esto un reflejo en la efectividad del tratamiento y como último los hidrocarburos ya que es el contaminante principal en el agua y el foco principal de la investigación, para las anteriores se tomaron muestras desde el momento que se realizó la siembra de las plantas con el agua sintética hasta 15 días después. Se siguieron los procedimientos de técnicas analíticas, acorde a los métodos normalizados para aguas residuales (APHA. 1992) .

3.4.1. SÓLIDOS TOTALES.

A. Preparación de crisol.

- calentar el crisol a 103- 105 °C durante una hora.
- conservar el crisol en un desecador hasta que se necesite.

B. Análisis de la muestra.

- Pese el crisol.
- Seleccionar un volumen de muestra constante (20ml)
- Llevar a un horno de secado que esta en una temperatura entre 103 - 105 °C, por una hora.
- Enfrié el crisol en un desecador hasta equilibrar la temperatura y pesar.
- Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% del peso anterior o menor de 0.5 mg.

C. Calculo

Se hallan los miligramos de sólidos totales por litro de la muestra basados en la ecuación 3.5.1.1, que se puede observar a continuación. (APHA. 1992)

Ecuación 3.4.1.1: Sólidos totales.

$$SST = \frac{(A - B) * (1000)}{vol\ muestra\ (ml)}$$

donde:

A= Peso de residuo seco + crisol (mg)

B= peso de crisol (mg)

3.4.2. HIDROCARBUROS.

A. Extracción líquido- líquido.

- Preparar embudo de separación con su base.
- Agregar 20 ml de la muestra.
- Agregar 20 ml de hexano.
- Agitar por cinco minutos asegurándose que no se cree una emulsión y evacuar los gases que se forman en el embudo.
- Dejarlo reposar por 12 horas.
- Luego de las 12 horas, revisar la diferenciación de las fases, el líquido superior es la extracción de hidrocarburos que los contiene el hexano mientras que el líquido inferior es el agua.

B. Lectura

- Se inyecta 1 micro litro del extracto orgánico de la fase anterior en un cromatografo de gases equipado con un detector FID, bajo las siguientes condiciones operativas.

C. Condiciones cromatografías

- Cromatografo de gases GC TRACE 1310.
- Detector FID¹³.
- Tiempo de corrida: 39 min
- Modo splitless
- Rampa de temperatura: inicia a 180°C se mantiene por 3 min, luego hace un incremento de 10°C/min hasta 280°C y se mantiene por 25 minutos.
- Flujo 1 ml/min de nitrógeno.
- Temperatura del detector 280°C.
- Gas de auxiliar: nitrógeno 30 ml/min.
- Aire 300 ml/min.

3.4.3. CARBON ORGANICO TOTAL.

A. extracción

- Se filtra la muestra cruda de los tratamientos a 0.45 micras.

B. Lectura

¹³ FID: Flame ionization detector.

- El extracto acuoso (1 ml) del ítem anterior, se inyecta directamente en el equipo analizador de carbono orgánico.

C. Condiciones equipo analizador.

- equipo TELEDYNE Telemark.
- Estándar: Ftalato ácido de potasio.
- Temperatura del horno: 680°C.
- Detector infrarrojo no dispersivo NDIR¹⁴.
- curva de calibración: $y = 1; 620x + 3; 744$ Ecuación de la recta.

¹⁴ NDIR: Non dispersive infrared detector.

4. CAPITULO. RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación, corresponden a tres características hidrocarburos, carbón orgánico total (COT) y sólidos totales, estas fueron medidas a un agua sintética que contenía diferentes concentraciones de contaminantes ya esclarecidos en el capítulo 3. En cuanto a la evaluación de los hidrocarburos se realizó una prueba no paramétrica por el poco número de muestras no se podía asumir una anova. Para la evaluación de los resultados se usaron software SPSS para la estadística y EXCEL.

4.1. VISUAL.

En el proceso de la investigación se realizaron diferentes observaciones visuales del tratamiento, que se mencionan a continuación.

- Se visualizaba una capa de hidrocarburos de 2 cm para los recipientes C1 y C2. Mientras que para los recipientes C3 y C4 era de 4 cm, esto en las primeras 24 horas, a partir del segundo día se vio disminución de esta capa hasta desaparecer en día 8.
- En los recipientes C1 y C2 se observó contaminación no relacionada a los hidrocarburos incorporados desde el inicio del estudio.
- El color del agua fue siendo más claro a lo largo de las primeras 24 horas.
- Los cuatro recipientes presentaron sedimentación de 0.5 cm para el final del experimento.
-

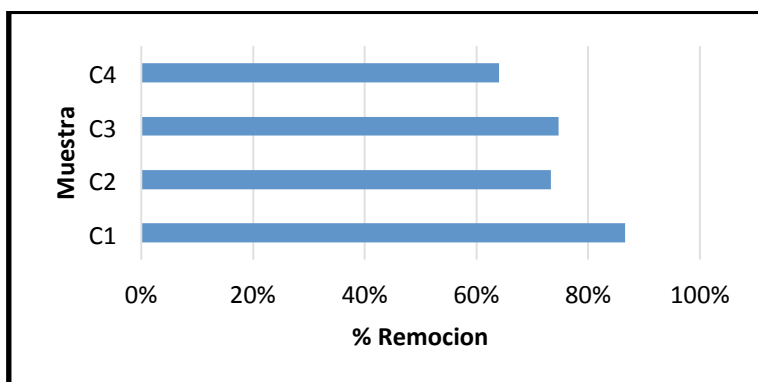
4.2. HIDROCARBUROS

Para la evaluación de del comportamiento de los hidrocarburos se realizó la lectura por medio de cromatografía, la cual arroja lecturas de cadenas de carbono de hidrocarburos, estas representadas en presencia y no presencias de las cadenas, para la lectura estadísticas estas fueron descritas como 1 presencia y 0 no presencia.

En la figura 4.2.1 se presenta el porcentaje de remoción de hidrocarburos. Se observa la concentración C1 con una remoción del 87%, siendo esta la más alta obtenida en el proceso, por lo cual se infiere que un agua con una concentración menor de hidrocarburos tiene una mejor respuesta en la remoción, esto siendo apoyado con la muestra C2 que obtuvo una remoción del 73%.

Las muestras C3 y C4 que se les agrego 1L de gasolina presentan una remociones de 75% y 64% respectivamente.

Figura 4.2.1: % remoción de hidrocarburos (HC).



Los datos fueron sometidos a una evaluación por medio del método CHI-CUADRADO DE PEARSON, el cual se puede observar el resultados en la tabla 4.2.2. Lo que se obtiene es basado en inferencia de que si el valor de $P < 0.05$ se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 , es así que $H_0 =$ se tienen las mismas proporciones de remoción y $H_1 =$ hay una diferencia en las proporciones de remoción. Lo cual se infiere que como se tiene una P menor de 0.05 aceptamos la H_1 en la que hay una diferencia entre las proporciones de remoción de las muestras evaluadas, es así que las concentraciones en las que fueron preparadas el agua afectan la efectividad de remociones de los hidrocarburos.

Tabla 4.2.2: Prueba chi-cuadrado Pearson.

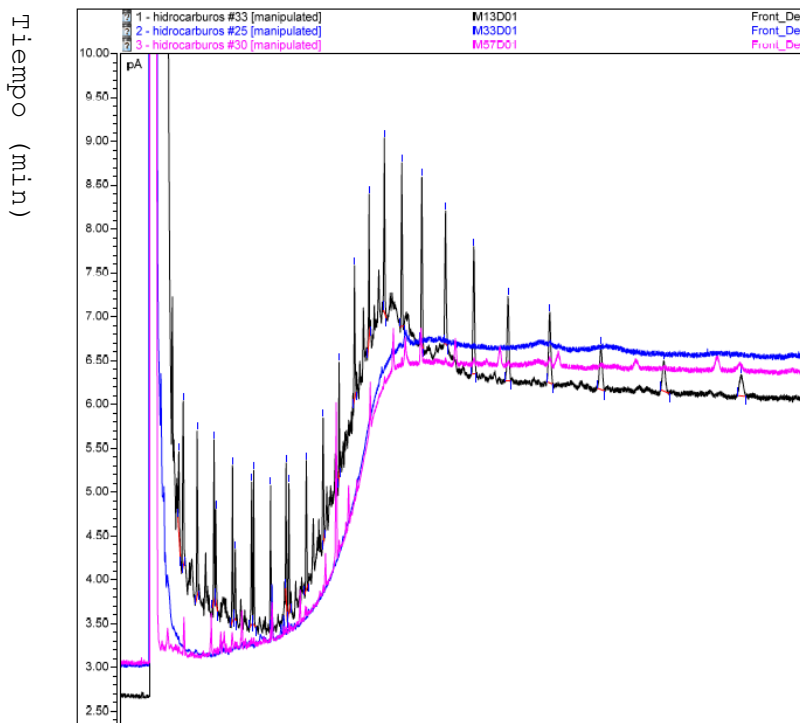
Prueba de chi-cuadrado			
	Valor	gl	P
Chi-cuadrado de Pearson	10,291 ^a	3	.016

Por medio de la cromatografía se obtuvieron los cromatogramas que se observan en las figuras 4.2.2 hasta la 4.2.5, las cuales son respectivas a cada una de las concentraciones evaluadas (C1, C2, C3, C4). En el eje X están los picos que se observan con hidrocarburos con cadenas de carbono desde 13 hasta 37, para el

eje Y están los tiempos en los que sale cada una de las cadenas mientras esta en el cromatografo.

La concentración representada por C1, figura 4.2.2. Se observa que para las muestras finales las cuales se ven en las líneas azules y fucsia hay una disminución en los picos que componen mas cadenas de carbonos, de lo cual se infiere que a una concentración de 0.5Lt, la remoción de grandes cadenas de carbonos tiene unos buenos resultados.

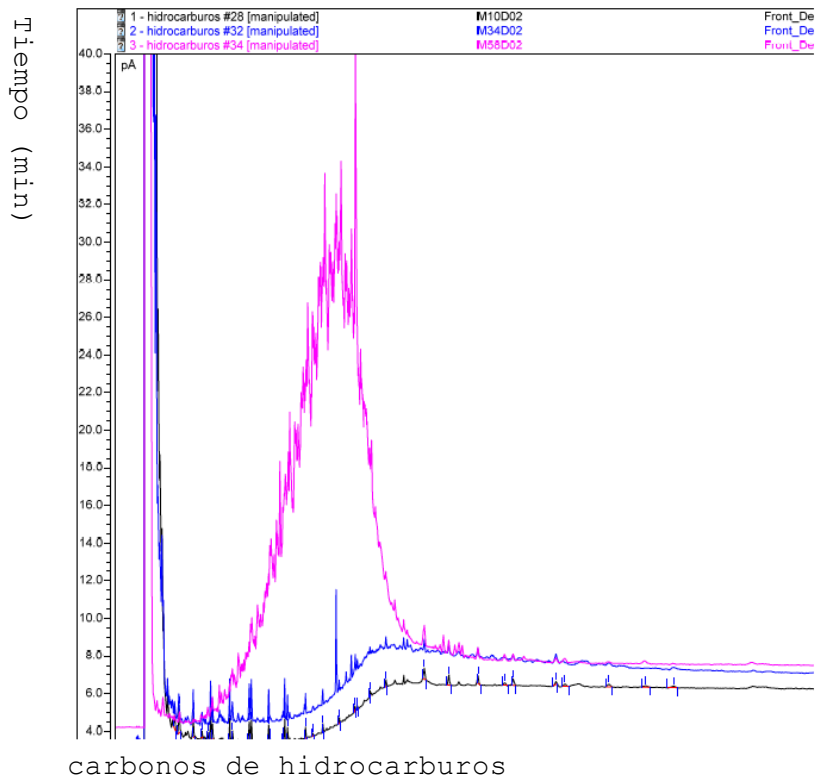
Figura 4.2.2: Cromatografía muestra C1.



carbonos de hidrocarburos

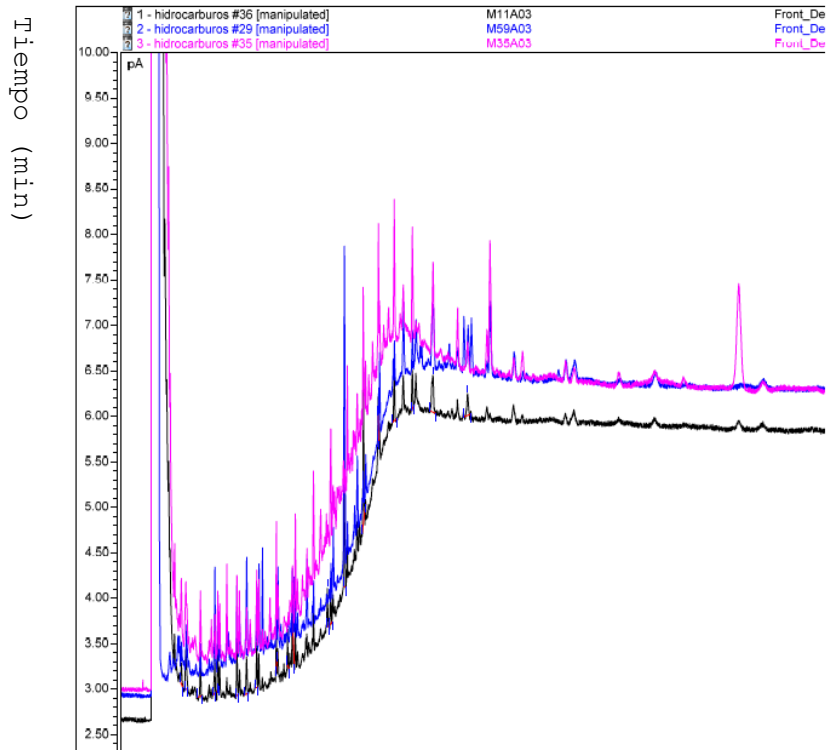
En la figura 4.2.3 en la cual se representan los resultados de la concentración C2, se observan unos picos menos marcados para los tres tiempos de muestreo, sigue el mismo régimen que la concentración C1 de una disminución en los picos acordes a las grande cadenas de carbonos. Es así como se tiene un excelente trabajo de las plantas con los hidrocarburos de grandes cadenas de carbonos en una concentración de 0.5 Lt.

Figura 4.2.3: Cromatografía muestra C2.



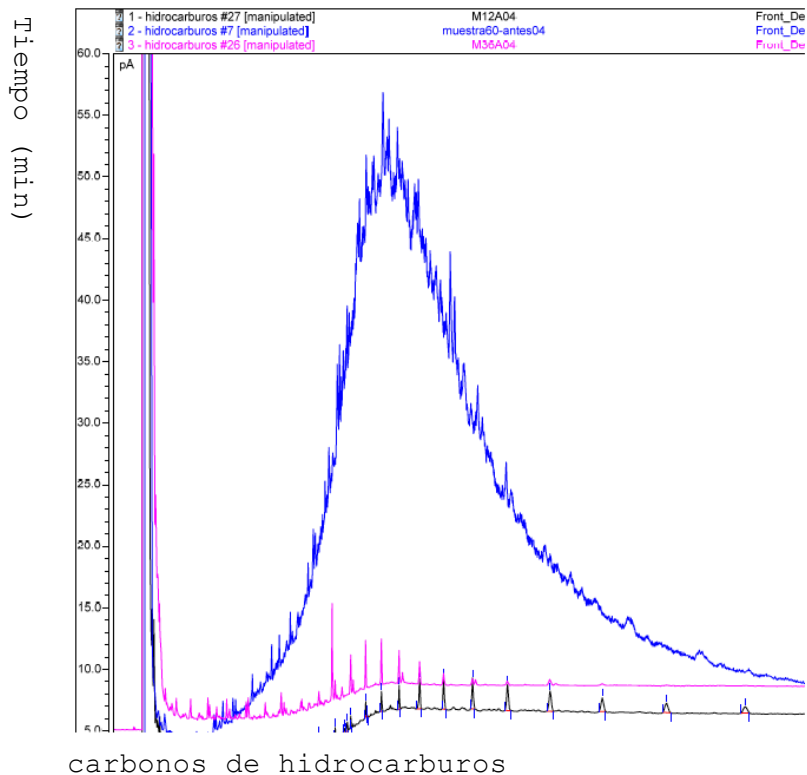
El agua que se trabajo con una concentración de 1Lt de gasolina y que es representada por las muestras C3 y C4, para estas podemos ver el cromatograma en la figura 4.2.4 y 4.2.5, de los cuales se entiende disminución en las cadenas de carbonos, siendo mas marcadas la disminucion de las cadenas mas grandes, pero con unas puntas mas marcadas en que en las concentraciones C1 Y C2.

Figura 4.2.4: Cromatografía muestra C3.



carbonos de hidrocarburos

Figura 4.2.5: Cromatografía muestra C4.

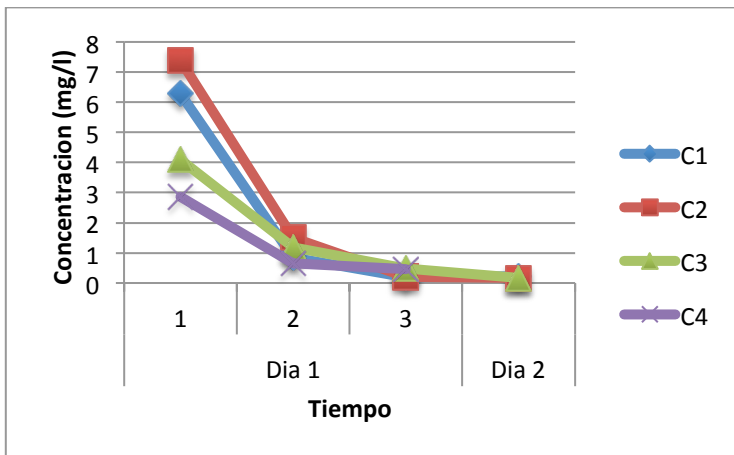


4.3. SOLIDOS TOTALES.

En cuanto a los resultados de los solidos totales de las muestras se observa en la figura 4.3.1 un descenso en las primeras 24 horas de las concentraciones de estos, teniendo en cuenta que en el D1 inicial (1) presenta mayores concentraciones las muestras concentraciones C1 y C2, lo cual se concluye que sucede ya que en la observación se ve mayor sedimentos no asociados a hidrocarburos, pero para el segundo momento de muestreo (2) se ve una muy buena disminución de

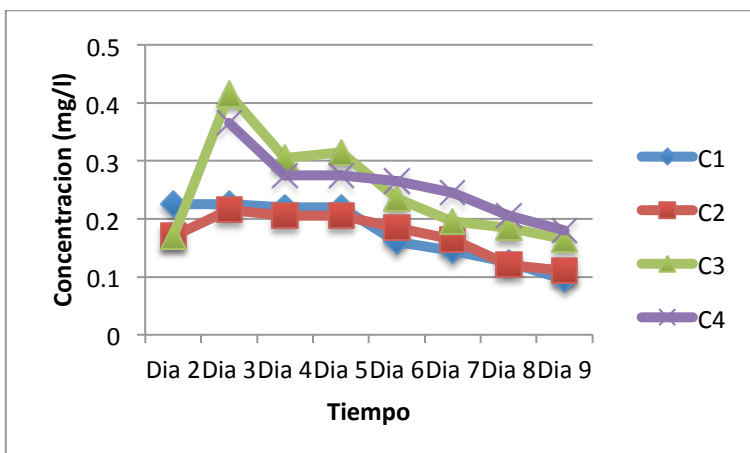
los sólidos observando un fenómeno parecido para las cuatro concentraciones. Se relaciona que en los primeros dos tiempo hay una disminución de los sólidos que es diferenciada viéndola desde la concentración que se le agregue de gasolina.

Figura 4.3.1: Sólidos totales (Día 1-Día 2).



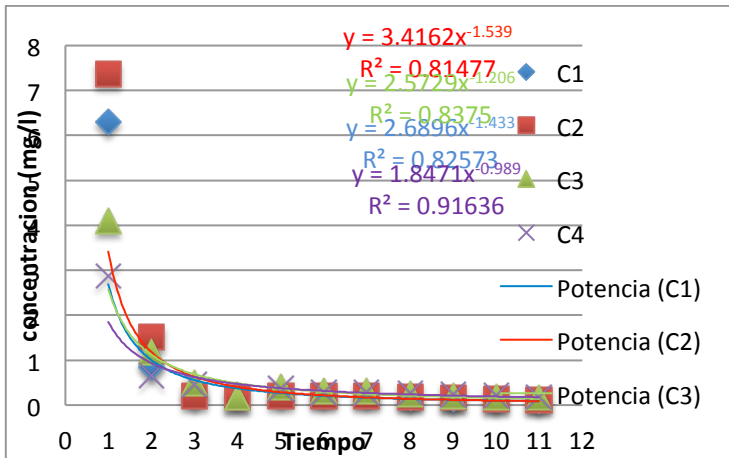
Para la figura 4.3.2 se ve un cambio en el comportamiento de las muestras se encuentra una disminución mayor para las concentraciones C1 y C2 llegando a concentraciones finales de 0.095 mg/l y de 0.11 mg/l respectivamente, mientras que para las concentraciones C3 y C4 se ve un aumento en el tiempo día 3 que se otorga a caída de ceniza y el lugar en donde se encontraban los recipientes se encontraba una abertura por la cual ingreso y se realizo verificación visual de la contaminación, pero vuelve y se normaliza para así unas concentraciones de 0.16 mg/l para C3 y de 0.18 de la concentración C4.

Figura 4.3.2: Sólidos totales (Día 2-Día 9).



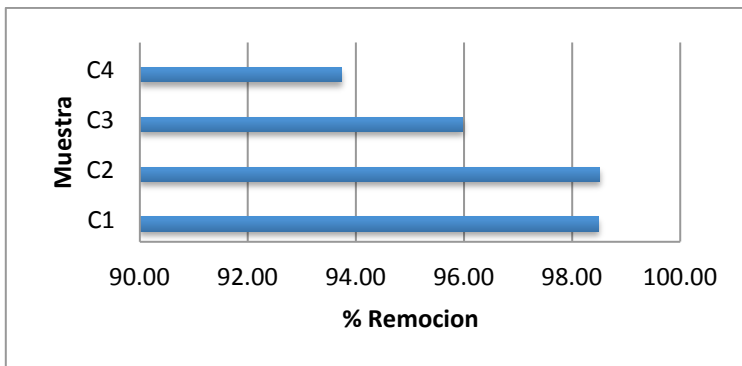
Por medio de un modelo de regresión se evaluó la mejor velocidad de tratamiento el cual se puede ver en la figura 4.3.3, las concentraciones evaluadas obedecen un fenómeno potencial, por medio de las ecuaciones obtenidas de cada una de estas se decide que la Y menor es la que va a representar una velocidad de tratamiento mas rápido, el cual esta representado por el $y = 1.8471x^{-0.98}$ que es el tratamiento C4 seguido por el C3, de lo cual se establece que las muestras con mayor concentración de hidrocarburos son las mas veloces en realizar su remediación.

Figura 4.3.3: Modelo de regresión potencial, solidos totales.



En cuanto a la evaluación del porcentaje de remoción que se observa en la figura 4.3.4 existen remociones de el orden de 98.51% de solidos totales para la concentración C2 y para C1 una remoción de 98.49%, en tanto para las concentraciones C3 Y C4 unas remociones de 93.73 y 95.98. Siendo unos resultados muy satisfactorios en las cuatro muestras se destaca el comportamiento de las concentraciones mas bajas de hidrocarburos que son la C1 Y C2 así que de esta manera se obtiene un mejor tratamiento.

Figura 4.3.4: % remoción solidos totales.



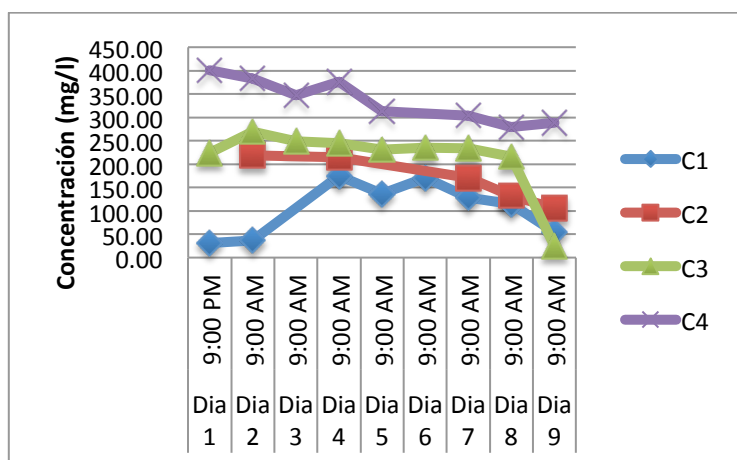
4.4. CARBON ORGANICO TOTAL (COT)

Por su parte las concentraciones de carbono orgánico total durante el tiempo de experimentación se pueden observar en la figura 4.4.1. Se observan descensos lentos a el cabo del tiempo pero con unas concentraciones finales menores a 24.68 mg/l en caso de la concentración C3 y una concentración de 54.19mg/l para C1, siendo estas dos las concentraciones menores finales.

Se puede ver también en la figura 4.4.1 que las concentraciones C1 y C2 son las concentraciones con menor concentración de MO¹⁵, siendo esta una mejor calidad de agua.

En cuanto a el aumento de la concentración para las muestras C4 y C1, están asociadas a un error tanto en el momento de muestreo y de medición.

Figura 4.4.1: Carbón orgánico total

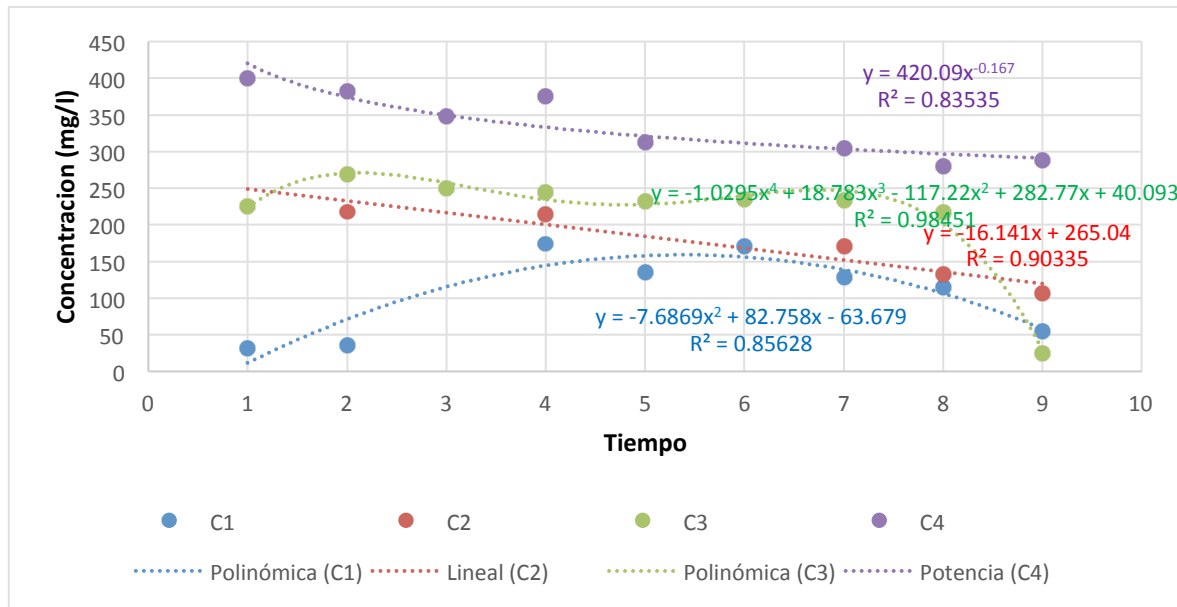


Por medio de un modelo de regresión que se le realizo a cada una de las concentraciones se encontró que obedecían un comportamientos diferente, para las concentraciones C1 y C3 es un régimen polinómica, para el C2 es lineal y para la C4 un comportamiento potencial que se puede apreciar en la figura 4.4.2. De esta forma se deseaba ver el mejor tiempo de tratamiento pero

¹⁵ MO: materia orgánica

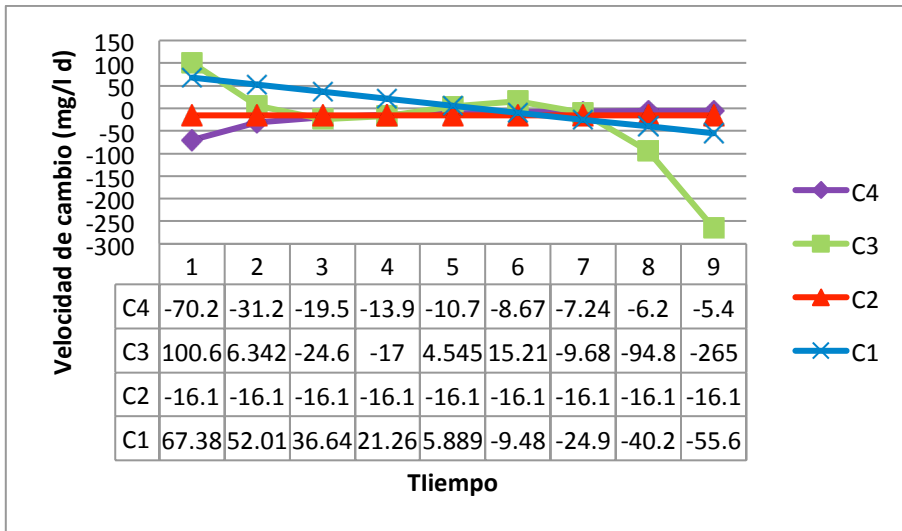
dato a que cada una de estas tenia un comportamiento diferente, se realizo la primera derivada a cada una de las ecuaciones y se sacaron los nuevos puntos para de esta forma observar la tendencia de velocidad lo cual se ve en la figura 4.3.3, de esta manera que la tendencia mas estable es la mas rápida.

Figura 4.4.2: Modelo de regresión, carbón orgánico total



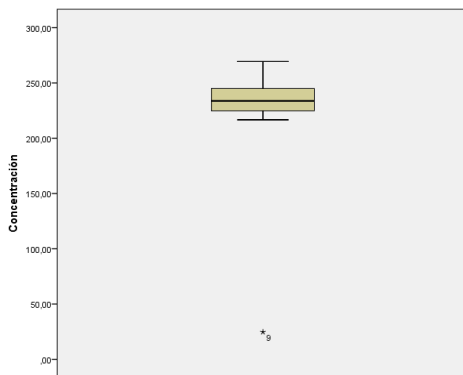
Basado en la 4.4.3 se recalca que el mejor comportamiento en estabilidad es para la concentración C2 lo que indica, que es la mayor velocidad de remoción de los contaminantes orgánicos y siendo coherente con las concentraciones otorgadas de hidrocarburos sigue la C1 que aunque disminuye su velocidad de remoción es continua en el tiempo. Las concentraciones C3 Y C4 tienen un comportamiento parecido en el trabajo de remoción, siendo mas estable para C4 que para C3.

Figura 4.4.3: Tendencia de velocidad, carbón orgánico total



En las observaciones anteriores se ve un fenómeno en cuanto a la concentración C3, se evaluó si los datos originales tenían un dato atípico, este se corroboró por medio de un diagrama de caja y bigotes que se ve en la figura 4.4.4 y ratifica que se tiene un valor atípico correspondiente a el T9 (tiempo nueve) que se le otorga a un error en el momento de muestreo.

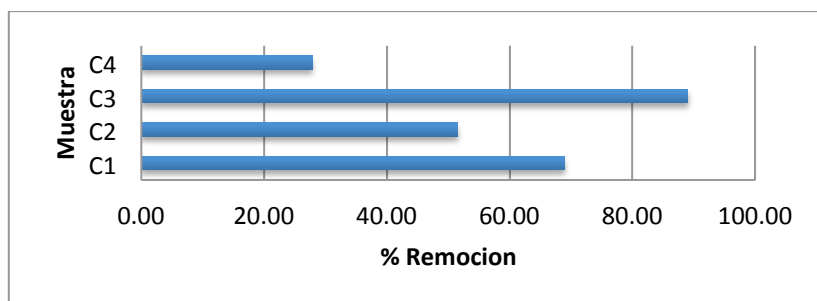
Figura 4.4.4: Diagrama caja y bigotes.



El porcentaje de remoción demuestra una muy buena remoción para la muestra C3 con un porcentaje de 89.02% que se puede ver en el grafico 4.4.2, seguida de una remoción de 68.93% de el tratamiento C1, siendo estos los mejores resultados, seguido de el tratamiento C2 con una remoción de 51.53% del carbón orgánico presente y como ultimo una remoción de 27.84% para la muestra C4. Se promedian los porcentajes de remoción para decidir cual de las dos condiciones es la mas optima y se observa un promedio de un 60.2% de remoción para las muestras C1 y C2 y un 58.4% para C3 y C4, es de esta manera

que la concentración que se trabaja con 0.5 Lt de gasolina la que mejor remoción de materia orgánica tiene.

Grafico 4.4.2: % remoción carbono orgánico total.



5. CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

5.1. Conclusiones.

- o Se observa una mejor remoción de hidrocarburos por medio de la fitorremediación con énfasis en el sistema vetiver, cuando el agua tiene menor concentración de hidrocarburos. Ya que en las tres características que se evaluaron en todos se presentan mejores porcentajes de remoción y de concentraciones de contaminantes para las muestras C1 con un 87% de remoción de hidrocarburos Y C2 teniendo una remoción de 73% de los hidrocarburos, correspondiendo estas a el agua con (v/v) de 2.43%.
- o El tratamiento por medio de humedal de vegetación flotante se debe considerar la aplicación después de un pre tratamiento ya que esta clase de humedales tienen muy altos requerimientos de área, es también que entre menor sea la concentración de entrada, menor es el riesgo de obstrucción o colmatación.
- o La remoción de solidos totales tiene una actividad mas rápida en mayor concentración de hidrocarburos, pero el porcentaje de remoción final es mejor para las concentraciones mas bajas C1 (98.4%) Y C2 (98.5), es de esta manera que se debe evaluar cuales de las dos es prioridad en el tratamiento que se desea realizar.

- o La materia orgánica sigue el mismo criterio de la remoción de los hidrocarburos ya que a menor concentración es mas rápida la remoción y mas alto el porcentaje de remoción de los contaminantes, como lo es la muestra C1 con una remoción del 68.9%.

5.2. Perspectivas.

- o El sistema vetiver en conjunto con el filtro de macrófitas flotantes es una muy buena alternativa de tratamiento para aguas procedentes de la industria de hidrocarburos.
- o Se debe tener en cuenta que si se desea realizar un tratamiento de esta índole debe ir acompañado de una primera etapa de preparación del agua, de esta manera se obtendrá mejores resultados y eficiencia.
- o Se recomienda el uso del sistema vetiver para estas clases de aguas y se sugiere seguir investigando y observar otros factores a evaluar como lo es la DBO y la DQO.
- o La industria petrolera tiene una muy buena alternativa en cuanto a tratamiento biológicos, especialmente el filtro de macrófitas flotantes, ya que reduce los costos de tratamiento y así ayuda a el precio de producción del producto.

6. CAPITULO. BIBLIOGRAFIA

- Adanes. (2011). Depuración con macrófitas.[Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.ambientologosfera.es/2011/08/09/depuracion-con-macrofitas/>
- AIE. (2015). Precio del petroleo. Recuperado de <http://www.preciopetroleo.net/aie-agencia-internacional-de-la-energia.html>
- American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environment Federation (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. PDF.
- Barton, C., Marx, D., Adriano, D., Jun-Koo, B., Newman, L., Czapka, S., Blake, J. (2005). *Phytostabilization of a landfill containing coal combustion waste*. Environmental Geosciences. 12: 251-265.
- Bock C., Kolb M., Bokern M., Harms H., Makova M., Chroma M., Macek T., Hughes J., Just C. and Schnoor J., (2002). *Advances in phytoremediation: Phytotransformation. Innovative approaches to the on site assessment of remediation of contaminated sites*. Pag 115 – 140.
- Cubillos J., (2011). *Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos*. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Delgadillo A., González C., Prieto F., Villagómez J and Acevedo O., (2011). *Fitorremediación: un alternativa para eliminar la contaminación*. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Delgadillo, O. Camacho, A. Perez, L. Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Pdf.
- Eapen,S. Melo, J. Singh, S. D´Souza, S. (2007). *Potential of vetiver (vetiveria zizanoides) for phytoremediation of phenol*. ScienceDirect. pdf
- EPA, (1999). Method 1664, Revision A: N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGTHEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry. Washington, DC 20460
- EPA, (2000). *Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales: Humedales de Flujo Subsuperficial*. Office of Water. Washington DC, United States.
- Gonzales, J. Beascochea, E. Muñoz, J. Curt, M. (2006). *Manual de fitodepuración. Filtro de macrófitas en flotación. Cap 6*. Pdf.

- Gupta, P. Nikhil, K. Mayank, K. (2015). *Phyto remediation of waste water trough aquatic plantas for the change detection analysis in the chemical properties within the district Dhanbad, Jharkhand*. Pdf.
- Instituto Colombiano del petróleo. (2012). *Análisis de aguas residuales industriales y del cuerpo de agua receptor de su vertimiento (quebrada Manizales)*. Piedecuesta, Colombia, 2012.
- Interstate Technology and Regulatory Cooperation, (2001). *Phytotechnology Technical and Regulatory guidelines*. Phytotechnologies work team.
- Kamath R., Rentz J., Schnoor J. and Álvarez P., (s.f) *Phytoremediation of hydrocarbon contaminated soils: principles and applications Department of Civil and Environmental Engineering, Seamans Center, University of Iowa, Iowa City, Iowa, U.S.A. – 52242*.
- Kvesitadze G., Gordeziani M., Khatisashvili G. Sadunishvili y Ramsden J. (2001). *Some aspects of the enzymatic basic of phytoremediation*. J. Biol. Phys. Chem. 1, 49-57.
- Navarrete, F. (2015). *Propuesta para el manejo integrado de las zonas costeras a partir de la revisión del código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente y la normatividad vigente*. DOC.
- Pinzón, G. Moreno, M. (2007). *Definición de estándares operativos para el tratamiento de aguas residuales*. pdf
- Rai U., and Pal A. (1999, octubre). *Toxic Metals and Phytoremediation*. *International Society of Environmental Botanists*. Vol. 5 No.4. India.
- Robinson, D. (2013). *Oil and gas: treatment and discharge of produced water onshore (part1)*. Recuperado de <http://www.filtsep.com/view/34021/oil-and-gas-treatment-and-discharge-of-produced-waters-onshore-part-1/>
- Singh, O.V., Jain, R. K. (2003). *Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil*. *Applied and Microbiology Biotechnology*. 63: 128-135.
- Soto, S. (2015). *Biorremediación una opción para disminuir la contaminación de plaguicidas organoclorados encontrado en suelos y aguas*. Pdf.
- Susarla S., Medina V. and McCutcheon S., (2002). *Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination*. *Ecological Engineering* N° 18. Pag. 648.
- Thangavel, P., Subhram, C. V. (2004). *Phytoextraction – Role of hyper accumulators in metal contaminated soils*. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. Part B. 70(1):109-130.

The Vetiver Network. (2009). *Vetiver system technical manual. Primera edición. PDF.*