



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

FACTIBILIDAD DE REMOCION DE HIDROCARBUROS UTILIZANDO

LIRIO ACUATICO (Eichhornia crassipes)

TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

EMILIA ARELI MARTINEZ BOLAÑOS

TUTOR:

DR. ERNESTO MANGAS RAMÍREZ



2014

*“Si no puedes volar, corre. Si no puedes correr, camina.
Si no puedes caminar, gatea. Pero hagas lo que hagas,
Siempre sigue hacia adelante”.*

Martin Luther King.

DEDICATORIA

A mi hija, Valentina, eres la luz que ilumina mis días, mi motor para seguir adelante y ser mejor cada día. Por ti mi niña.

A mis Padres, María de Jesús y Adelaido. Con todo mi cariño y mi amor para ustedes, que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A mi hermano, Adelaido, mi héroe y mi mayor ejemplo de vida, por ti sé, que no hay obstáculo en la vida que no se pueda superar.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor de tesis. Dr. Ernesto Mangas Ramírez, por haber creído en mí, por darme su apoyo en la realización de esta tesis y aceptarme en su laboratorio como tesista.

Al Dr. Fernando Hernández Aldana, Por permitirme trabajar en el laboratorio de química ambiental, por su apoyo, guía y consejos para la mejora de este trabajo.

AL I.Q Sergio Espinosa Morales por sus atinadas observaciones y consejos para la mejora del trabajo.

A mis amigos de la universidad. Marisol, Andrea, Flor, Fanny, Maggie, Juan, Iván. Por su amistad, por los bellos momentos. Personas valiosas y grandiosas.

A mis padres. Por todo el esfuerzo, su apoyo incondicional, paciencia, confianza, dedicación y amor que me han dado para poder realizar este logro y también por enseñarme a luchar por mis sueños.

A mi hermano. Por ser un ejemplo para seguir adelante pase lo que pase, por tener un gran corazón y darme su apoyo incondicional.

A mi hija. Por tus sonrisas, por tu amor que me hace ser fuerte cada día. Agradecida por tenerte a mi lado.

A mis abuelas. Emilia y Cristina. Mujeres fuertes y de gran corazón, que me han enseñado que las cosas se hacen con determinación y esfuerzo.

A mi familia, lo más preciado que se puede tener en estos tiempos. A ustedes tíos, primos, sobrinos. Que son mi gran ejemplo de esfuerzo, dedicación, apoyo, honestidad, trabajo y amor.

A mi amigas de la vida. Jessica, Alejandra, Jajmel, Talya, Sarahi, Roció, Amneris, Montse. Por su amistad incondicional y confianza que ha durado más de 10 años y que espero que dure miles años más.

A la vida por darme la oportunidad de llegar hasta donde estoy y darme lo más preciado que pueda poseer. Mi Hija.

“Una de las mejores frases que puede salir de nuestra boca es: ¿En qué te puedo servir?”

GRACIAS a cada uno de ustedes que me brindaron lo necesario para ser cada día una mejor persona y seguir adelante.

Índice General

I. Introducción.....	1
1.1 Hidrocarburos _____	2
1.2 Contaminación _____	2
1.3 Técnicas de limpieza de hidrocarburos. _____	4
1.4 Uso de Sorbentes. _____	5
1.5 SorbentesOrgánicos _____	5
2. Lirio Acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	6
2.1 Clasificación Taxonómica _____	7
2.2 Morfología del lirio acuático (<i>Eichhornnia crassipes</i>) _____	7
2.3 Problemática ambiental. _____	8
2.4 Biología del lirio acuatico en Anexo I. _____	9
3. Otras fibras	10
3.1 Hoja de Mazorca. (<i>Zeamays</i>) _____	10
3.2 Esponja vegetal (<i>Luffa Cylindrica</i>) _____	11
3.3 Pasto(<i>Pennisetum clandestinum</i>) _____	12
II. Antecedentes.	13
III. Justificación	19
IV. Hipótesis.....	20
V. Objetivos	20
5.1 Objetivo general _____	20
5.2 Objetivos particulares _____	20
VI. Material y métodos.....	21
6.1 Diagrama de trabajo experimento I _____	21
6.2 Diagrama de trabajo, experimento 2 (sistema seco) _____	22
6.3 Colecta del material biológico. _____	24
6.4 Diseño experimental del experimento 1 _____	27
6.5 Diseño experimental del experimento 2 _____	29
VII. Resultados	32
7.1 Experimento I _____	32
7.2 Experimento II (sistema seco) _____	41
VIII. Discusión	47

8.1 Absorbancia	47
8.2 Variables fisicoquímicas	49
8.3 Capacidad de adsorción	52
IX. Conclusiones	58
XI. Bibliografía	59
XII. Anexo I	67
12.1. Biología del lirio Acuático.	67
12.2 Comportamiento.	67
12.3 Temperatura.	67
12.4 Reproducción.	67
12.5 Competencia.	68
12.6 Depredación.	69
12.7 Dispersión.	
12.8 Ciclo de vida.	70
12.9 Esperanza de vida.	70

Resumen

La contaminación por hidrocarburos puede ser de origen accidental o intencional. Casi la mitad de los hidrocarburos que llegan a los océanos provienen de tierra firme arrastrados por las corrientes fluviales debido a la falta de aplicación de métodos que permitan recuperarlos en el lugar del derrame. El presente estudio tiene como objetivo determinar la factibilidad del uso de fibras de lirio acuático, pasto, esponja vegetal y hoja de mazorca para remover hidrocarburos; para lo cual se realizaron pruebas de adsorción de lecho fijo con diferentes partes de la planta delirio acuático y posteriormente se hicieron estudios con pruebas de jarras en sistema seco para comparar la eficiencia de remoción de contaminantes utilizando almohadillas preparadas con las fibras de las 4 especies vegetales.

Los resultados en la columna de lecho fijo mostraron que la parte del bulbo y tallo del lirio acuático fueron las más eficientes para remover gasolina. En la prueba de jarras donde se utilizó tanto gasolina como aceite automotriz se obtuvo como resultado que la planta más eficiente para removerlos de un sistema acuoso fueron las almohadillas preparadas con lirio acuático obteniéndose valores de $6 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ mientras que para el otro hidrocarburo se obtuvo $5.2 \text{ g}_{\text{gasolina}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$. Las fibras que obtuvieron los valores más bajos fueron Zea mays ($4.2 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$) y Luffa cylindrica ($2.2 \text{ g}_{\text{gasolina}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$). Se concluye que la eficiencia de las fibras vegetales puede deberse a la constitución morfológica de cada una de las fibras utilizadas.

I. Introducción

El petróleo es hoy en día una de las fuentes más importantes para la generación de energía y materias primas para la elaboración de compuestos químicos. La producción de petróleo anual en el mundo se estima que asciende a las dos mil millones de toneladas (Fernández-Linares *et al.*, 2006).

El uso amplio de los hidrocarburos en nuestra sociedad está asociado a las actividades de exploración, explotación, refinación, distribución y comercialización, así como su empleo, principalmente, como combustible para las industrias de transformación y del transporte. Estas actividades implican un intenso manejo de hidrocarburos con el inminente riesgo de que puedan ocurrir descargas en el ambiente con implicaciones de contaminación del agua, cuya magnitud y consecuencias están en función de las características del sitio afectado (Saval *et al.*, 2004).

En cada una de las fases de exploración, explotación, transporte, refinamiento y almacenamiento de hidrocarburos del petróleo existe el riesgo de fuga o derrame. Estos sucesos pueden causar contaminación en los ambientes terrestres y acuáticos derivando en graves impactos ecológicos y económicos. Estos impactos se pueden observar en la mortandad de especies acuáticas, la bioacumulación en las cadenas tróficas y la afectación de actividades turísticas y de esparcimiento (Annunciado *et al.*, 2005).

1.1 Hidrocarburos

A los hidrocarburos se les conoce como compuestos orgánicos, no polares los cuales solo constan de átomos de carbono e hidrógeno (Mager Stellman *et al.*, 2001). Son una mezcla de un gran número de compuestos químicos derivados del petróleo crudo. Dentro de sus características generales se pueden mencionar: composición (carbono e hidrógeno), hidrofobicidad y flamabilidad. Algunos de estos hidrocarburos son líquidos claros y ligeros que se evaporan fácilmente y otros son líquidos o semisólidos oscuros y pesados que no se evaporan dependiendo de su peso molecular. En su gran mayoría, estos productos tienen olores característicos a gasolina, queroseno o petróleo (Olguín *et al.*, 2007).

Estos compuestos constituyen una actividad económica de primera importancia, pues forman parte de los principales combustibles fósiles (petróleo y gas natural). Son principalmente usados en las industrias como combustibles, lubricantes y disolventes los cuales son sometidos a diferentes procesos; actúan también como materias primas para la síntesis de pinturas, plásticos y una gran variedad de productos petroquímicos (Mager Stellman *et al.*, 2001).

1.2 Contaminación

Todo el avance en la extracción y en las aplicaciones del petróleo ha sido gran ventaja para el desarrollo de la economía y la sociedad. Por otra parte este avance que ha generado la industria petrolera conlleva a una gran desventaja “la contaminación”.

Entre los más graves desastres ambientales que atentan contra la

biodiversidad se encuentran los derrames de petróleo en ríos, mares y océanos.

Los derrames de petróleo generan la existencia de una película en la interfase agua-aire, tiene por consecuencia la perturbación de los intercambios naturales gaseosos, lo que provoca una disminución del proceso de auto depuración por la disminución de la capacidad de re-oxigenación del medio (Galán C., 2013). La falta o disminución de la entrada de luz por la turbidez o color imposibilita o reduce el área donde es posible la fotosíntesis. El 80 por ciento de la actividad fotosintética y de la absorción de energía solar se produce en los 10 primeros metros de la superficie marina. Ello indica la importancia de la entrada de la luz para mantener las comunidades fotosintéticas de los fondos marinos. La falta o disminución de plantas fotosintéticas reduce el aporte de oxígeno y generación de alimento al ecosistema. El fitoplancton es a su vez el alimento del zooplanctón, por lo que, sin fitoplancton, el zooplancton muere y con él se interrumpe el crecimiento de un importante número de especies, al tiempo que se deja sin alimento a un gran número de animales marinos. Al no ingresar naturalmente aire, no se introduce oxígeno y se favorecen procesos anaeróbicos, que producen compuestos tóxicos como: metano, sulfuros, amoníaco, aminas, etc. que generan un aroma putrefacto. La penetración de los componentes tóxicos del petróleo puede traer como consecuencia la modificación de las propiedades físicas del medio tales como la tensión superficial, el pH, la temperatura, el potencial de óxido reducción; la precipitación de elementos minerales (nitrógeno, fósforo, hormonas, oligo-elementos, vitaminas, etc.) indispensables

para la vida de los microorganismos y plancton. (Greenpeace, 2012)

La contaminación por petróleo crudo o refinado es generada accidental o deliberadamente: Se estima que 3 mil 800 millones de litros entran cada año a los océanos como resultado de las actividades humanas, de éstos, sólo el 8 % se debe a fuentes naturales; por lo menos el 22 % a descargas operacionales intencionales de los barcos, 12 % por derrames de buques y otro 36 % por las descargas de aguas residuales. (Suchanek, 1993).

I.3 Técnicas de limpieza de hidrocarburos.

La contención de hidrocarburos después de un derrame debe llevarse a cabo tan rápido como sea posible con la finalidad de minimizar los daños provocados en los ecosistemas. Los hidrocarburos derramados en un medio acuático tienden a extenderse por efecto de los vientos y las corrientes pudiendo alcanzar zonas críticas (USEPA, 1999).

Entre los métodos más comunes se encuentran la incineración *in situ* y el uso de dispersantes químicos como surfactantes. El resultado de estas prácticas son daños ambientales tales como contaminación atmosférica y efectos tóxicos en las especies marinas (ITOPF, 2010).

Debido a esta situación, la búsqueda de métodos eficaces para controlar, y remediar parcial o totalmente los efectos adversos ocasionados por los derrames de petróleo es constante. Esta búsqueda se encamina a encontrar materiales naturales y/o sintéticos que puedan remover rápidamente el hidrocarburo

derramado en el ambiente para así evitar que sufra procesos como la intemperización, dispersión o emulsificación, que vuelvan al hidrocarburo más tóxico o más difícil de recuperar (Wei *et al.*,2003).

I.4 Uso de Sorbentes.

Los sorbentes son materiales o mezclas de materiales usados para remover líquidos mediante los procesos de absorción, adsorción o una combinación de ambos. El uso de sorbentes es muy útil en áreas que no pueden ser alcanzadas por estructuras como barreras o *skimmers* (Silos-Rodríguez, 2008).

Los materiales sorbentes de hidrocarburos pueden clasificarse de manera general en tres categorías: naturales orgánicos, naturales inorgánicos y sintéticos. (Ortiz-González, 2006).

I.5 Sorbentes Orgánicos

Debido a su fácil disponibilidad, bajo costo y buena capacidad de retención, el uso de sorbentes naturales para combatir la contaminación por derrames de hidrocarburos ha cobrado importancia en el campo de la investigación de los materiales (IMO, 2005). Algunos de los que se han usados son bagazo de caña, lirio acuático, musgo, plumas de pollo, paja, serrín, Pasto, lirio acuático, etc.

Es por esto que la investigación de nuevos materiales naturales orgánicos ha tenido gran auge en los últimos años. Estos materiales pueden ser usados como sorbentes de hidrocarburos debido a sus propiedades como abundancia, disponibilidad y factibilidad de ser biodegradados.

La biomasa de algunas plantas acuáticas representa una buena opción como sorbente orgánico, dado a sus características la hacen un excelente adsorbente no sólo de hidrocarburos sino también de iones metálicos. Por lo que *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) es conocido por su habilidad de adsorber gran cantidad de estos tóxicos (Martínez y Mejía. 2013).

2. Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*).

E. crassipes es una planta de la familia Pontederiaceae, que ocupa un lugar sobresaliente entre las comunidades de hidrofitas de agua dulce de las regiones tropicales y subtropicales del mundo, originaria de la cuenca del Amazonas, en Brasil. Su distribución en México es amplia, ya que crece en una gran diversidad de hábitats dulceacuícolas localizadas desde el nivel del mar hasta los 2250 msnm (Miranda y Lot, 1999), es una planta propia de ríos, lagos, arroyos, canales, charcas temporales, lagunas, pantanos y presas (Novelo y Ramos, 1998)

El lirio acuático es también conocido como: Cucharilla, camalote, flor de agua, flor de huauchinango, jacinto, jacinto de agua, lagunera, lechuguilla, lirio acuático, lirio de agua, carolina, papalacate, pico de pato, reina, tamborcillo, violeta de agua, ninfa, buchón de agua (Martínez, 1979; Novelo y Ramos, 1998; Rzedowski y Rzedowski, 2001 y 2004).

2.1. Clasificación Taxonómica

De acuerdo al sistema Integrado de Información Taxonómica SIIT*

Reino: *Plantae*

Subreino: *Viridaeplantae*

División: *Tracheophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Commelinales*

Familia: *Pontederiaceae*

Género: *Eichhornia*

Especies: *Eichhornia crassipes*

2.2. Morfología del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)

Planta acuática libremente flotadora o algunas veces fijas al sustrato, perenne, muy variable en tamaño; tallo reducido y los individuos conectados por un rizoma horizontal alargado; hojas arrosetadas, estipulas delgadas, emergidas, laminas oblatas a elípticas, de 2.5 a 16 cm de largo y de 3 a 12 cm de ancho, ápice truncado, redondeado a ligeramente obtuso, peciolo sin articulaciones, de 3 a 60 cm de largo, inflados y cortos o bien definidos y alargados (Miranda y Lot, 1999; Lot y Novelo, 2001). Inflorescencia espiciforme, tamaño variable hasta de 16 cm de longitud con 4 a 16 flores de 4 a 5 cm de largo, solitarias y alternas a lo largo del pedúnculo, sésiles, perianto lila o rara vez blanco; estambres con los filamentos piloso- glandulares, anteras sagitadas, azuladas; pistilo de 3 cm de largo, estigma capitado; cápsula elíptica; semillas oblongo-elípticas, de color negruzco (Lot y Novelo, 1990).

2.3 Problemática ambiental.

Dentro de los daños causados por el lirio acuático, están la disminución de la capacidad de intercambio de oxígeno entre la interfase aire-agua evitando la transferencia de oxígeno y la penetración de luz al agua. Al morir, *E. crassipes* se deposita en el fondo del cuerpo de agua produciendo condiciones anaerobias que interfieren con las funciones de los organismos bentónicos (Meas-Vong, 2002). La sombra proyectada por el lirio acuático inhibe el crecimiento del fitoplancton causando, a su vez, una reducción en la densidad poblacional del zooplancton que afecta de manera directa a la cadena alimenticia (Harley, 1996).

En cuanto a los riesgos de salud en la población; *E. crassipes* proporciona un hábitat ideal para especies consideradas de alto riesgo para la salud como el mosquito *Anopheles sp.*, que transmite la malaria, el mosquito *Mansoria sp.*, que transmite la encefalitis y el mosquito *Culex sp.*, portador de la filaria. En las raíces, se puede albergar al caracol *Limnae fasciola* que transmite la fasciolosis, o el caracol *Bulinus bromphalaris*, transmisor de la equistosomiasis (Meas-Vong, 2002). La infestación de *E. crassipes* tiene consecuencias económicas serias al interferir directamente en la navegación en los cuerpos de agua, entorpece la actividad pesquera y disminuye la producción, causa bajas en las actividades turísticas, dificulta la operación de las turbinas de las plantas hidroeléctricas, obstruye los canales de riego y drenaje, incrementa la evapotranspiración y acelera el azolvamiento del embalse (Meas-Vong, 2002). Esta problemática provoca que cada año se gasten billones de dólares en programas para el control y erradicación de esta especie (Burton, 2005). Por lo que se han buscado diferentes

usos entre los que se encuentran: fertilizantes, forraje y ornamental (Rzedowski y Rzedowski, 2001, 2004), también sirve como alimento de carpas, para elaborar artesanías, producir biogás y depurar aguas residuales (Novelo y Ramos, 1998). Como ya se sabe la proliferación de esta planta en los cuerpos de agua provoca graves problemas de índole económica, ecológica y de salud. (Jiménez. 2010). Dentro de las principales estrategias para eliminar al lirio acuático se encuentran la remoción mecánica, su trituración y hundimiento y el uso de herbicidas, sin embargo, ninguna de estas actividades se hace de manera sustentable; lo que a la larga genera problemas de contaminación en cuerpos de agua y sus alrededores (López y Torres. 2013).

2.4 Biología del lirio acuático en Anexo I.

El aprovechamiento de esta planta (fig. 1) ha resultado beneficioso, una de las ventajas es que al deshidratarse se convierte en un excelente material de adsorción, por ello, el objetivo de este trabajo es determinar la viabilidad del lirio acuático seco y triturado a manera de adsorbente de hidrocarburos para utilizarlo como un biorremediador de contaminación y haciendo una comparación con otras fibras en cuanto a su capacidad de adsorción.



Fig. 1 Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)

3. Otras fibras

Como se mencionó también se quiere comparar con otro tipo de fibras de plantas vegetales debido a su abundancia y disponibilidad. Estas fibras son hoja de maíz (*Zea mays*), esponja vegetal (*Luffa cylindrica*), pasto (*Pennisetum clandestinum*).

3.1 Hoja de Mazorca. (*Zea mays*)

El maíz (fig. 2) es una planta herbácea anual, nativa del hemisferio norte, originario de México desde hace unos 10 mil años y que se cultiva en todo el mundo. Representa una de las principales fuentes de alimentación para casi todas las comunidades de México. La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz (cañas, hojas del tallo de la planta de maíz, hojas de la mazorca y mazorcas) fluctúa entre las 20 y 35 toneladas por hectárea (González, 1995; IDEA, 2007; Imba, 2011). Debido a la gran cantidad de residuos que la industria agraria del maíz (aproximadamente 10 toneladas de residuos por hectárea) generan en México, se tendría una solución óptima para el problema del manejo y tratamiento de los mismos, así como para el aprovechamiento de los recursos naturales. (Martínez *et al.*, 2012)



Fig. 2 hoja de mazorca (*Zea mays*)

3.2 Esponja vegetal (*Luffa Cylindrica*)

Luffa Cylindrica, comúnmente llamado estropajo (figura 3) es una enredadera vigorosa de ciclo anual de la familia de las *Cucurbitaceas*, del género *Luffa* y es originaria de las regiones tropicales de América. Los frutos en su estado tierno, son suaves y verdes, externamente marcados por líneas longitudinales oscuras en su interior presentan una red cerrada de fibras. La esponja vegetal (*Luffa Cylindrica*) se ha destacado a nivel internacional por tener grandes aplicaciones que van desde lo medicinal, nutricional hasta lo cosmético, también se debe resaltar que la fibra se utiliza como rellenos para las industrias mobiliarias y textiles, base para cierta variedad de papel, filtros para piscinas, filtros para agua y aceite; en Norte América y Japón es considerada como excelente filtro en calderas de buques, locomotoras y en grandes fábricas con equipos a vapor, etc. (Fernández y Arcila, 2008)



Fig. 3 Esponja vegetal (*Luffa Cylindrica*)

3.3 Pasto (*Pennisetum clandestinum*)

Pennisetum clandestinum (fig. 4) es un pasto exótico, originario de África, de la familia Poacea, genero *Pennisetum*. Es introducido como forrajera, se ha extendido explosivamente en los últimos 30 años. En las regiones templadas y subtropicales húmedas y subhúmedas de México, forma prácticamente todos los céspedes y praderas, y domina los pastizales perturbados en los alrededores de las poblaciones grandes y pequeñas. También invade la vegetación natural, p.ej. los pastizales y ciénegas en los bosques de pino-encino y en el bosque mesófilo, además es un problema en muchos cultivos. Es la invasiva más seria de climas templados y subtropicales, pero es propagado activamente por la facilidad con la cual se establecen cubiertas vegetales con él, y por su valor forrajero (Heike Vibrans, 2009).



Fig.4. Pasto (*Pennisetum clandestinum*)

II. Antecedentes.

Romero y Rico. (2008). Analizaron que uno de los problemas ambientales de mayor importancia en el mundo, es la contaminación del agua, en mares, lagos, ríos y presas. En nuestro país los sistemas para la eliminación de contaminantes como metales, resultan con altos costos y se necesitan fuertes inversiones, por eso, una buena técnica para la eliminación de compuestos tóxicos y en la que se requiere poca inversión, es la Fitoremediación; Por lo que Metcalf y Eddy (1995) comprobaron que el Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) puede remover algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y disminuir niveles de DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), sólidos suspendidos y metales pesados. Diversos trabajos se han desarrollado aprovechando la capacidad que tiene el lirio por lo que Carrión *et al.* (2012) valoraron el uso potencial del lirio acuático como planta acumuladora de metales para los canales de Xochimilco. Los coeficientes de bioacumulación mostraron que el lirio acuático de Xochimilco se podría utilizar como planta remediadora de metales, lo cual requiere retirar periódicamente el lirio de los canales.

Como ya se mencionó anteriormente, la ventaja de aprovechar el lirio trae consigo nuevas propuestas. Ly *et al.* (2002) determinaron que el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) contiene una gran cantidad de fibra (55 %) y por lo tanto existen algunas empresas que ya lo utilizan para remover compuestos orgánicos

no polares, tales como los hidrocarburos. Estos contaminantes son dañinos por lo tanto Olguín *et al.* (2007) establecieron que no es fácil aplicar tecnologías de fitoremediación utilizando plantas vivas, dado que las plantas también son sensibles a estos compuestos tóxicos. Así que DeLaune *et al.* (2003) demostraron que ciertas plantas costeras de pantano son sensibles al petróleo crudo, sin embargo, al utilizar la biomasa seca, dichos efectos tóxicos fueron eliminados. Entonces, la fitoremediación dirigida a la adsorción de hidrocarburos disueltos en la columna de agua o adheridos a partículas suspendidas en el agua de ambientes de manglar, utilizando biomasa muerta la cual no es sensible a los efectos tóxicos de estos compuestos genera un buen resultado. Ribeiro *et al.* (2003), han estudiado ciertas propiedades de la biomasa seca que pueden utilizarse como bioadsorbentes de hidrocarburos. Se ha descrito que la hidrofobicidad, la superficie específica y la capilaridad de los adsorbentes son los factores determinantes involucrados en la remoción de petróleo y otros hidrocarburos.

En la investigación de Atehortua *et al.* (2013) estudiaron la planta (lirio acuático) seca y triturada como material adsorbente de metales pesados en aguas residuales, específicamente de plomo y cromo. Se encontró que este material es un adsorbente eficaz de metales pesados dado que pudo adsorber plomo y cromo de soluciones. Este trabajo tomó como referencia el estudio de S. M. Torres (2009) en el cual analizó la capacidad de adsorción de *E. crassipes* seca por medio de ensayos de flujo y encontraron que esta capacidad depende de variables como la velocidad de flujo, el pH de la solución y el tamaño de partículas.

Atehortua *et al.* (2013) tamizaron el material en malla 80 obteniendo partículas con tamaños variables entre 0,18 a 0,84 mm. Este tamaño fue reportado como óptimo para la adsorción lo cual también fue reportado Torres *et al.* (2009) donde la investigación concluye que la biomasa de la *E. crassipes* puede ser usada eficientemente como material adsorbente para descontaminación de aguas residuales. Continuando con Atehortua *et al.* (2013) sus resultados revelan la alta capacidad de adsorción de plomo. Dicen que la concentración de Pb en la solución disminuye con el aumento en la cantidad de material adsorbente, cuando se usó la mayor cantidad de material: 2 g en 1L de solución. Por otra parte, la concentración de plomo disminuye con el tiempo de agitación. Se observó que el material presenta una etapa muy rápida de adsorción (15 min.) y después de este tiempo no aumenta significativamente la cantidad de plomo absorbido. Utilizando otra fibra Leiva-Mas *et al.* (2012) Realizaron una columna de adsorción rellena de bagazo de caña, utilizaron grasas, aceites e hidrocarburos, evaluaron la calidad del efluente de agua residual oleosa a la salida de la columna, dando como resultado para grasas y aceites 4.14 mg/L (peso inicial 25.2) y para hidrocarburos 7.00 mg/L (peso inicial 49.36). Como se puede observar, la propuesta tecnológica de utilización de la biosorción para la remoción de hidrocarburos utilizando bagazo de caña disminuye considerablemente el poder contaminante de dichas aguas.

Utilizando otra metodología Leiva-Mas *et al.* (2012) Diseñaron un método donde se pesa aproximadamente 1 gramo de material (Bagazo de caña), se coloca en un recipiente y se le añade el hidrocarburo. Se deja en contacto un tiempo de 15 minutos a presión atmosférica y temperatura ambiente. Luego es

filtrado por escurrimiento (1 hora) en un embudo de malla fina y se cuantifica la ganancia en peso por el método gravimétrico, donde demostraron que el bagazo de la caña de azúcar tiene potencialidades como sorbente de hidrocarburos a la granulometría estudiada (- 2 + 1 mm). Se han realizados diferentes investigaciones en cuanto a adsorbentes de hidrocarburos por ejemplo Vinent Serrano *et al* (2011). Realizaron pruebas de adsorción de hidrocarburos con dos adsorbentes naturales *Liabsorb-k (Hibiscus cannabinus)* y *Liabsorb-m (100% natural)*. Para determinar el nivel de adsorción, fueron envasados en bolsas de malla sintética anti-insectos reciclada de 50 mesh. El peso total de la combinación fue de 100 g. Cada una de las cinco combinaciones se sumergió durante dos horas en recipientes que contenían suficiente aceite de motor para lograr buena adsorción de las partículas; luego se sacaron y se escurrieron durante 60 minutos; posteriormente se pesaron las muestras se replicaron cuatro veces.

Para medir la capacidad de adsorción los investigadores Méndez-Tovar *et al* (2012) utilizaron el método ASTM F726-06 (Standard test method for sorbent performance of adsorbents) ellos mencionan que puede ser utilizado debido a que presenta la ventaja de poder aplicarse a las diferentes formas de materiales adsorbentes que existen en el mercado y a un amplio rango de hidrocarburos, además de ser sencillo y práctico.

De acuerdo al método ASTM F726-06 los materiales adsorbentes se pueden clasificar en base a su forma física de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación de adsorbentes de acuerdo al método ASTM F726-06.

Material	Ejemplos
Tipo I	Rollos Hojas Mantas Toallas Tapetes
Tipo II	Musgo Bagazo de caña Arcillas
Tipo III	Cordones oleofílicos (booms) Colchonetas Almohadas
Tipo IV	Pompons

Ellos optaron por evaluar materiales tipo II debido a que en México cuando existen derrames en diferentes matrices el material a granel es el preferido por el personal operativo. Utilizaron bagazo de caña, lirio acuático y musgo. La capacidad de adsorción es el parámetro que se utiliza para medir el desempeño del material.

Capacidad de adsorción de hidrocarburo:

$$(g_{\text{hidrocarburo adsorbido}}/g_{\text{adsorbente}}) = S_s/S_0 \quad (1)$$

Utilizaron diésel, aceite de motor y petróleo crudo. Donde el lirio acuático presenta los valores más bajos de solo $3.6 \text{ g}_{\text{diésel}}/g_{\text{adsorbente}}$. Con respecto a la prueba aceite el lirio obtuvo un resultado de $4 \text{ g}_{\text{aceite}}/g_{\text{adsorbente}}$.

En el trabajo Anunciado *et. al.*, (2005) llevaron a cabo una investigación experimental con materiales sorbentes de varias fibras vegetales, entre estas fibras: una mezcla de residuos de hojas, aserrín, henequén (*Agave sisalana*), fibra de coco (*Cocos nucifera*), esponja vegetal (*Luffa cylindrica*) e hilo de seda.

Durante la investigación se realizaron pruebas con diferentes condiciones para el experimento como tiempos de retención entre 5 y 1440 min; sistemas estático, dinámico (con agitación) y seco (sólo hidrocarburo) Los resultados para el sistema seco con granulometría de 0.85-1.70 mm mostraron que la sorción incrementó con el tiempo de contacto; las capacidades de retención que se encontraron, decreciendo su capacidad de sorción en el orden siguiente: hilo de seda 85.5 g/g_{sorbente}>henequén 6.4 g/g_{sorbente}> serrín 6.4 g/g_{sorbente}> fibra de coco 5.4 g/g_{sorbente}> esponja vegetal 4.6 g/g_{sorbente}> residuos de hojas 2.7 g/g_{sorbente}; siendo el hilo de seda el que mayor capacidad de retención tuvo, 85.5 g/g_{sorbente}. El henequén y el hilo de seda sorbieron más del 80 por ciento de su capacidad durante los primeros 5 minutos. Una de las limitantes más importantes encontradas para el uso de algunas de estas fibras (henequén, esponja y serrín) como sorbentes de hidrocarburos es que bajo condiciones de derrame de hidrocarburos en agua el complejo agua-sorbente podría hundirse.

III. Justificación

La contaminación por hidrocarburos es uno de los más graves desastres naturales ya que estos se esparcen rápidamente, debido a la existencia de una importante diferencia de densidades entre ambos líquidos, llegando a ocupar extensas áreas, y dificultando por lo tanto sus posibilidades de limpieza. Esto imposibilita la interacción entre la flora y la fauna acuática con la atmósfera, obstruyendo así el ciclo natural de vida. También el lirio acuático debido a su capacidad de crecimiento y propagación, causan grandes problemas de conservación en los cuerpos de agua, considerando también repercusiones socioeconómicas y ecológicas ya que dentro de las principales estrategias para eliminar al lirio acuático se encuentran la remoción mecánica, su trituración y hundimiento y el uso de herbicidas, sin embargo, ninguna de estas actividades se hace de manera sustentable; lo que a la larga genera problemas de contaminación en cuerpos de agua y sus alrededores

Es por esto que el presente estudio ofrece una alternativa para resolver estos dos problemas ambientales: la infestación de los cuerpos de agua por esta planta, y la descontaminación de aguas por hidrocarburos, utilizando la biomasa seca y triturada de lirio acuático como adsorbente de hidrocarburos remediando así la contaminación por estas sustancias.

IV. Hipótesis

Al comparar diferentes fibras vegetales como adsorbentes de hidrocarburos se encontrarán diferencias significativas entre la eficiencia de adsorción a favor de la fibra seca de lirio acuatico.

V. Objetivos

5.1 Objetivo general

- Determinar la factibilidad del uso de fibras de lirio acuatico, pasto y hoja de mazorca y esponja vegetal para remover hidrocarburos.

5.2 Objetivos particulares

- Determinar la adsorción de hidrocarburos utilizando lirio acuatico a partir de un sistema de lecho fijo y espectrofotometría UV-vis.
- Determinar pH, color y turbidez de las fracciones que se obtuvieron a partir del sistema de lecho fijo.
- Analizar la capacidad de adsorción de las diferentes fibras mediante prueba de jarras.

VI. Material y métodos.

6.1 Diagrama de trabajo experimento I

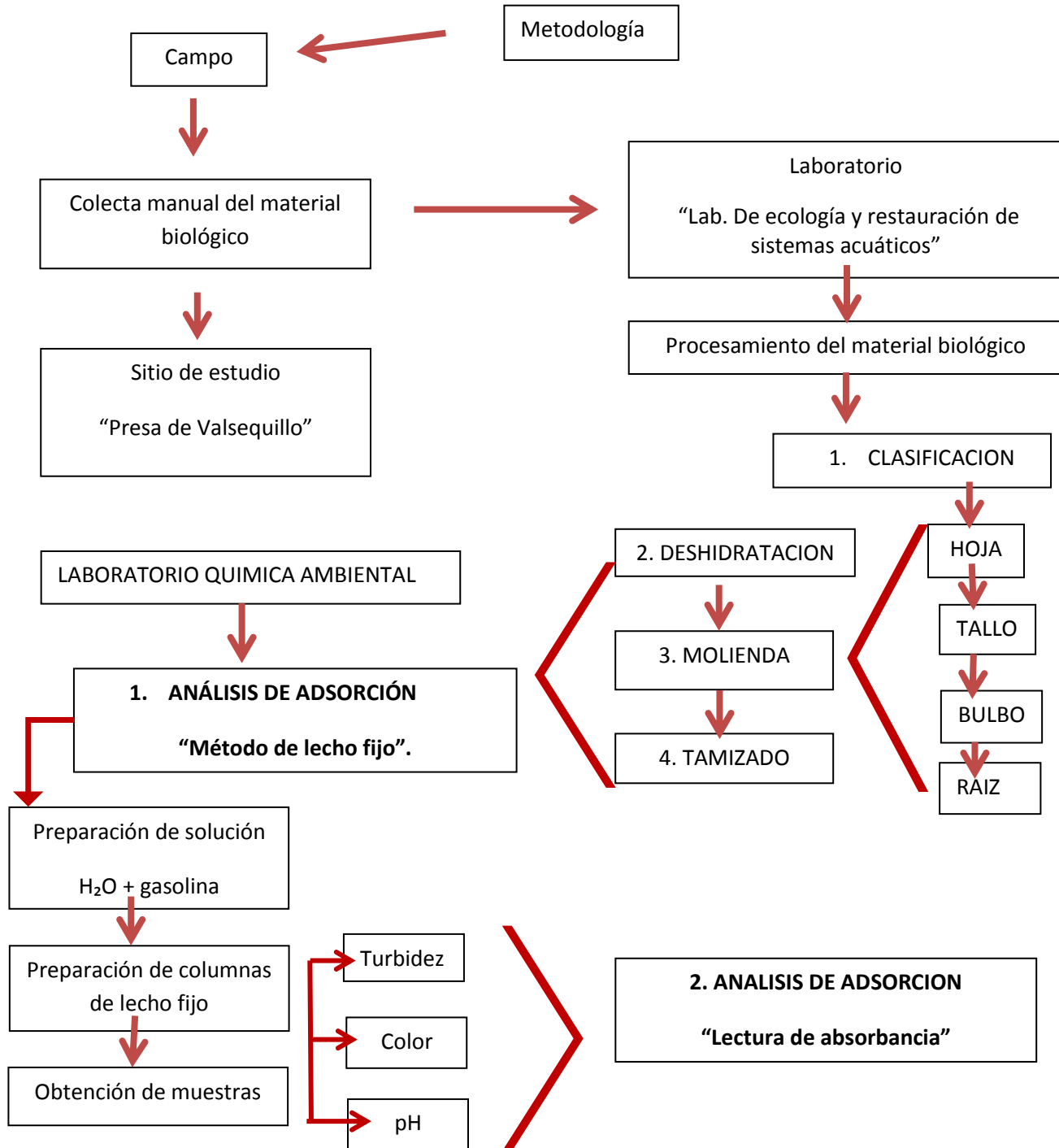


Fig.5.Organigrama de material y método

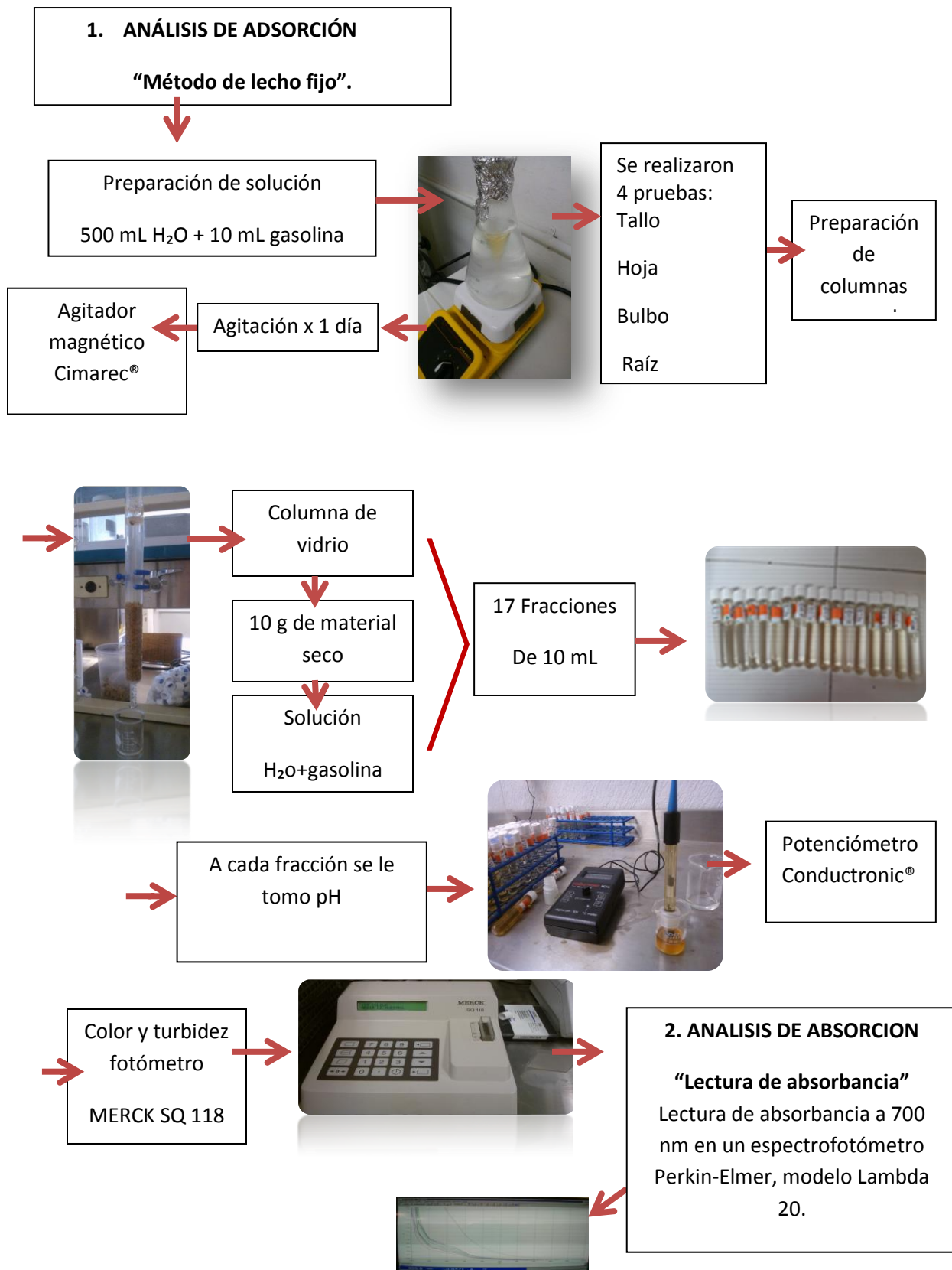


Fig.6. Continuación del organigrama de material y método

6.2 Diagrama de trabajo, experimento 2 (sistema seco)

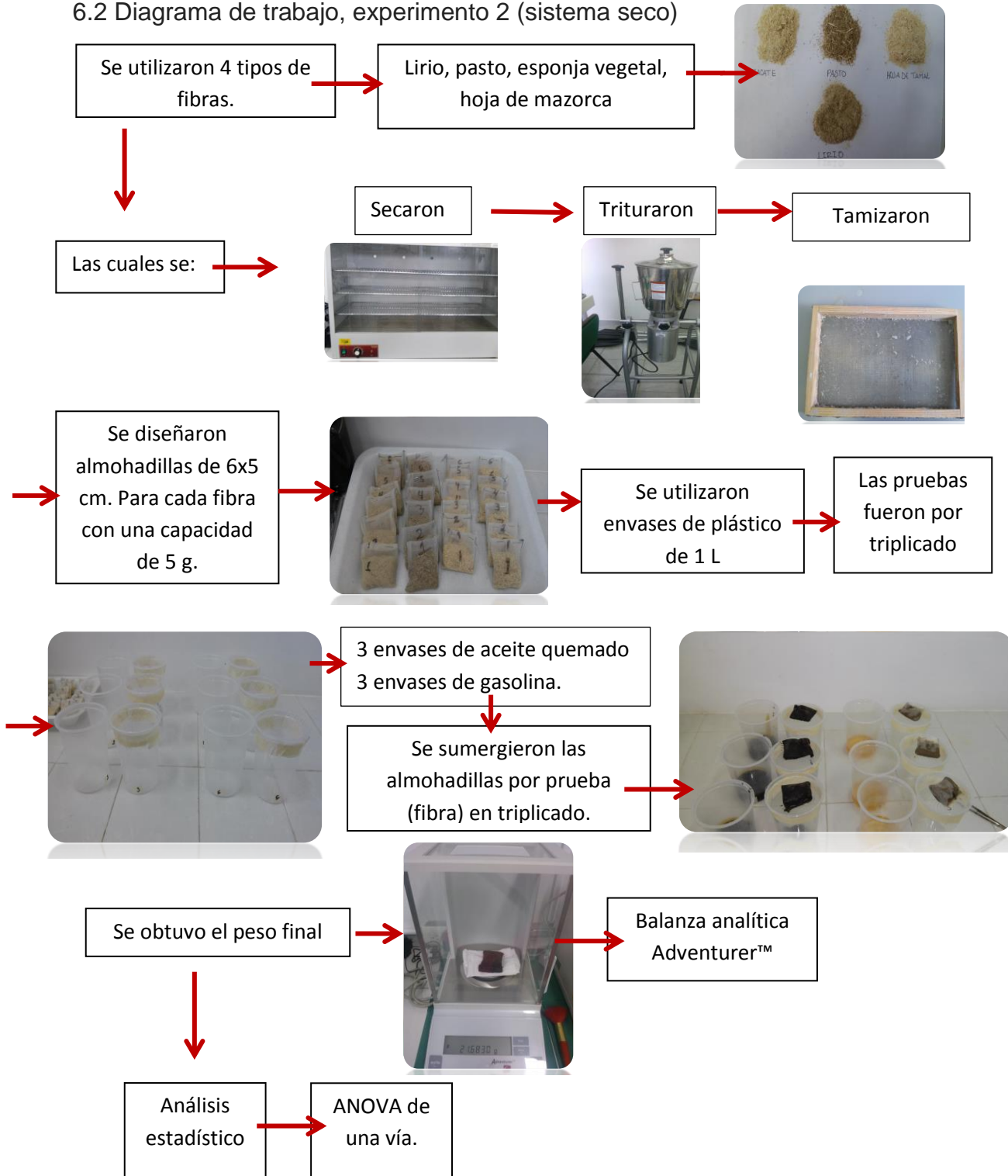


Fig 7 Organigrama de material y método experimento 2

6.3 Colecta del material biológico.

6.3.1 Zona de colecta.

Las plantas de lirio acuático se colectaron en la presa de Valsequillo, formalmente llamado “Presa Manuel Ávila Camacho”, Se localiza a 5 km al sur de la Ciudad de Puebla. Limita al norte con los municipios de Cuautinchán y Tepeaca, al sur con Tzicatlacoyan, al oriente con Mixtla y Santa Isabel Tlanepantla. Ésta se ubica dentro de una cuenca conformada al norte por los flujos de 3 ríos: el Atoyac, el Zahuapan y el Alseseca, y por una serie de drenajes de varias barrancas directamente al sur de la presa. Las cuencas de estos ríos pertenecen a la del río Balsas, Región Hidrológica #18, la cual tiene un área de 40, 938.6 Km². (Cedeño-Valdéz *et al.*,2010)

Geográficamente el sistema se localiza entre los 18° 53' y los 18° 17' de latitud Norte, 98° 06' y 98° 15' longitud oeste, a una altitud de 2100 msnm. La presa cuenta con 15 km de longitud y una capacidad de almacenamiento de 405 millones de m³. La cuenca pertenece al eje neovolcánico transversal y a la subprovincia de lagos y volcanes del Anáhuac (INEGI, 1987).

Fue construida de 1941 a 1946 para regularizar y aprovechar, en riego, los escurrimientos de río Atoyac, en beneficio de 33 380 ha., distribuidas en 4 unidades que se localizan en 19 municipios del estado de Puebla (valles Tecamachalco, San Jerónimo, Tlacotepec y Tehuacán). Con un volumen de 39 millones de m³ (infraestructura hidráulica, 2008).

La presa consiste en una cortina del tipo de tierra, provista por la margen izquierda de una obra de toma y de un vertedor de excedencias del tipo de cresta libre con canal lateral. La corona de la cortina tiene 425 m de longitud y una altura máxima de 82 m. Su nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) está a 2062 m.s.n.m (infraestructura hidráulica, 2008). La cortina es de tierra con corazón impermeable central amplio y simétrico; enseguida respaldos permeables de roca con lo que se protegen los parámetros exteriores contra oleaje y erosión. En la sección máxima todos los materiales están desplantados sobre conglomerado calizo. (Conagua, 2008)

Área geológica, se ubica dentro de la gran provincia neovolcanica de México, en la región cercana predominan rocas sedimentarias marinas cretácicas, principalmente calizas y lutitas que forman las sierras de Amozoc-Tepeaca, Tetzoyocan y el Tentzo. La vegetación predominante al sureste y centro-norte de la región está representada por pastizal inducido, en la parte sureste domina la presencia de chaparral y la vegetación acuática que predomina es lirio acuático (Mangas-Ramírez *et al.* 2008).

El nivel de especies se ha visto reducido debido a los problemas de contaminación, aun cuando se tiene conocimiento de la existencia de especies como carpa y tilapia, con grandes problemas para mantener su ciclo reproductivo y en consecuencia su existencia en dicho embalse. (Cabrera *et al.*, 2010).

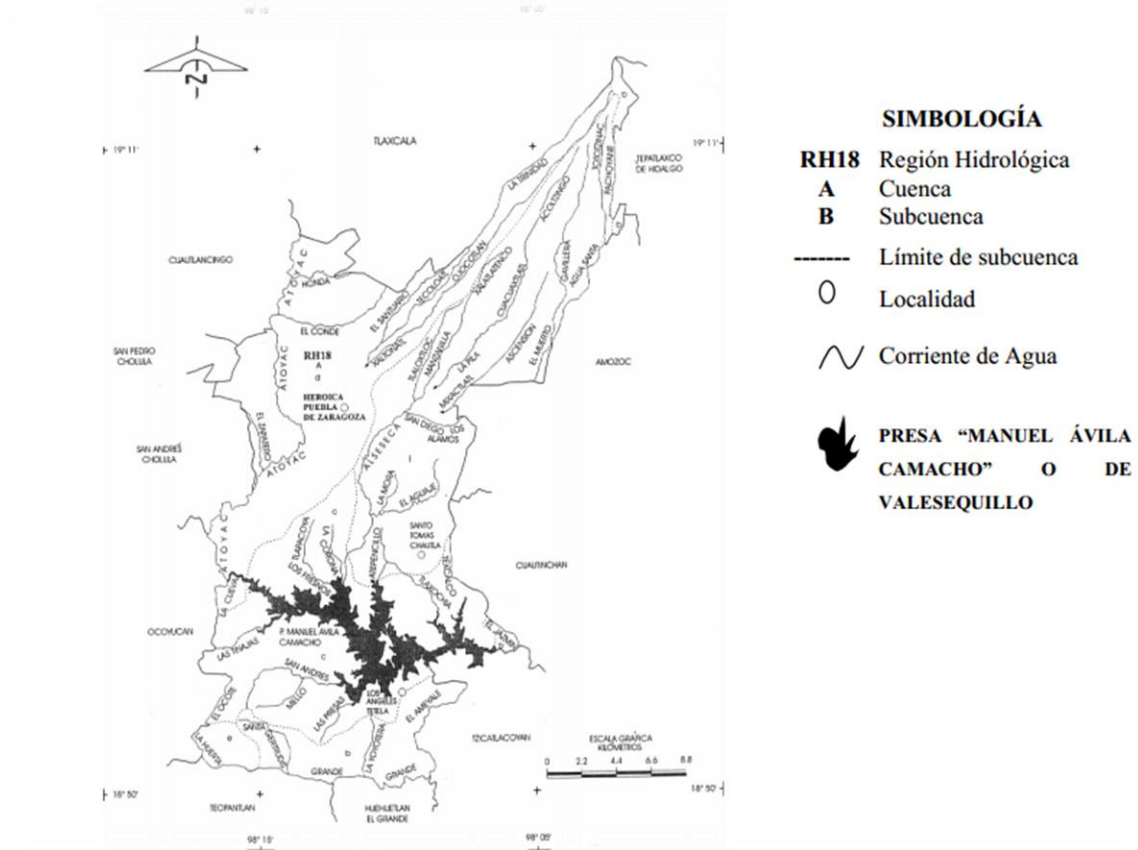


Fig.8. Localización de la Presa Manuel Ávila Camacho. Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2000. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000. INEGI. Carta Topográfica, 1:50 000 (2ª edición).

Se identificó que el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), considerado internacionalmente como plaga, crece abundantemente en el entorno de la presa, con una densidad de 88 individuos/m² y una biomasa de 43 kg/m² que impiden el desarrollo de la actividad pesquera y turística. El contenido de humedad del lirio tiene un valor promedio de 93-95%, lo que representa un alto contenido de agua y esto favorece que sea una planta flotante, impidiendo el paso de la luz solar y la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual. (Cedeño-Valdés *et al*, 2010).

6.4 Diseño del experimento 1.

6.4.1 Muestreo de ejemplares.

Se colectaron manualmente las plantas de *Eichhornia crassipes* de la periferia de la zona central de la presa, se colocaron en bolsas de polipropileno. Después de dejarse escurrir se transportaron al Laboratorio de Ecología y Restauración de Sistemas Acuáticos (ERSA).

6.4.2 Procesamiento del material biológico.

El procesamiento del material biológico se realizó en el laboratorio de Ecología y Restauración de Sistemas Acuáticos (ERSA) en la Escuela de Biología BUAP.

6.4.3 Lavado y selección del material biológico.

En la preparación de las plantas consistió inicialmente en un lavado de los ejemplares colectados para remover residuos de lodos. Posteriormente se hizo una selección de las partes morfológicas de las plantas como: hojas, tallos, bulbos y raíces.

6.4.4 Deshidratación, molienda y tamizado del material biológico.

Para la deshidratación las plantas ya seleccionadas se expusieron a una temperatura ambiente (al aire libre) para una deshidratación parcial, durante 24 horas, después fueron colocadas en una estufa Genlab para la deshidratación completa a una temperatura de 40°C. Deseccando el material se trituro en un molino manual. Posteriormente para el tamizado se utilizó un tamiz de 2 mm para

obtener un tamaño de partícula homogéneo. Se depositaron en bolsas etiquetadas con su respectiva información.

6.4.5 Preparación de solución.

Para la elaboración de la solución sorbente, se utilizó 500 mL de agua desionizada y 10 mL de gasolina Pemex magna. La solución se preparó dos días antes para que inicialmente se pudiera solubilizar parte de la gasolina en el agua con un agitador magnético Cimarec®, al siguiente día se dejó la solución ya agitada en refrigeración a una temperatura de 4°- 6°C para evitar parte de su evaporización.

Elaboración de columna de lecho fijo, determinación de pH, color, turbidez y análisis de adsorción.

6.4.6 Columna de lecho fijo.

Para el desarrollo de la columna de lecho fijo, toma de pH, color, turbidez y análisis de absorbancia, se realizó en el laboratorio de Química Ambiental. Centro de Química del Instituto de Ciencias de la BUAP.

Se utilizó una columna de vidrio a la cual se le agregó 10 g del material biológico procesado esto se realizó por cada prueba, esto quiere decir que se realizaron 4 columnas (hoja, tallo, bulbo, raíz). A cada columna (filtro) se le fue agregando la solución preparada como se explicó y así se recolectaron las 17 muestras resultantes del filtro.

6.4.7 pH, color y turbidez.

Para la medición de estas variables se utilizaron las 17 muestras que resultaron del filtro. A cada muestra se les fue tomando pH con un potenciómetro marca Conductronic. Para la toma de color y turbidez se utilizó un fotómetro SQ 118 Merck® igual para cada una de las 17 muestras.

6.4.8 Análisis de absorción mediante lecho fijo y espectrofotometría UV-vis.

Para el análisis de absorción se utilizó un espectrofotómetro Perkin-Elmer modelo Lambda 20 a una lectura de 700 nm. Las 17 muestras de cada prueba se colocaron en el espectro donde se obtuvo las gráficas de absorción para así analizarlas y cuantificar la cantidad de gasolina adsorbida por el lirio acuático.

6.5 Diseño del experimento 2

El segundo diseño experimental se realizó en el laboratorio de Ecología y Restauración de Sistemas Acuáticos utilizando 4 diferentes fibras vegetales depositadas en almohadillas confeccionadas con material sintético funcionando como adsorbente de hidrocarburos (Gasolina y Aceite quemado).

6.5.1 Procesamiento de 4 diferentes fibras. (Deshidratación, trituración y tamizado)

Para este segundo experimento se utilizaron 4 diferentes fibras son: Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*), Pasto (*Penissetum clandestinum*), Hoja de Mazorca (*Zea mays*), Esponja vegetal (*Luffa cylindrica*). Para procesarlas inicialmente se deshidrataron en una estufa Genlab a 60°C por dos días. Para su molienda se

utilizó una licuadora industrial JR LP-12. Y finalmente se tamizaron las diferentes muestras con un tamiz, donde se obtuvo un tamaño de partícula de 1.3 mm.

6.5.2 Diseño de almohadillas.

Se diseñaron almohadillas de 6x5 cm con una capacidad de almacenamiento de 5 g. El material para las almohadillas fue medio metro de tela Tricot Parisina ® e hilo.

6.5.3 Preparación de almohadillas.

Se rellenaron las almohadillas con 5 g de cada fibra. Se hicieron 6 almohadillas de cada prueba (fibra) enumeradas del 1 al 6 y se tomó el peso inicial con una balanza analítica Adventurer™.

6.5.4 Prueba de adsorción de hidrocarburos.

Para la prueba de adsorción de gasolina y aceite quemado (hidrocarburos), el diseño se hizo por triplicado, se utilizaron 3 envases de plástico de 1L para gasolina y 3 envases de plástico de 1L para aceite quemado. A los envases se les agregó 20 mL del contaminante (hidrocarburos). Ya preparados los envases se les colocó las almohadillas enumeradas del 1 al 6; utilizando del 1 al 3 para aceite quemado y del 4 al 6 para gasolina. Este método fue para cada prueba (fibra).

6.5.5 Análisis de datos

Finalmente después de las pruebas se tomó el peso final con una balanza analítica Adventurer™ para posteriormente analizar los datos con el programa estadístico statistic utilizando Anova de una vía para determinar si hay diferencias significativas entre las fibras vegetales.

Para el análisis de capacidad de adsorción se utilizó el método de ASTM F726-06 para cada fibra vegetal.

VII. Resultados

7.1 Experimento I

7.1.1 Análisis de Absorbancia.

Con el objetivo de conocer la capacidad de absorción del lirio acuático y determinar si las diferentes partes de la planta como hoja, raíz, tallo y bulbo presentan algún contraste en cuanto a la capacidad de adsorbente se realizaron análisis de absorbancia por espectrofotometría UV- vis.

Análisis de Absorción de prueba control con gravilla sílicea

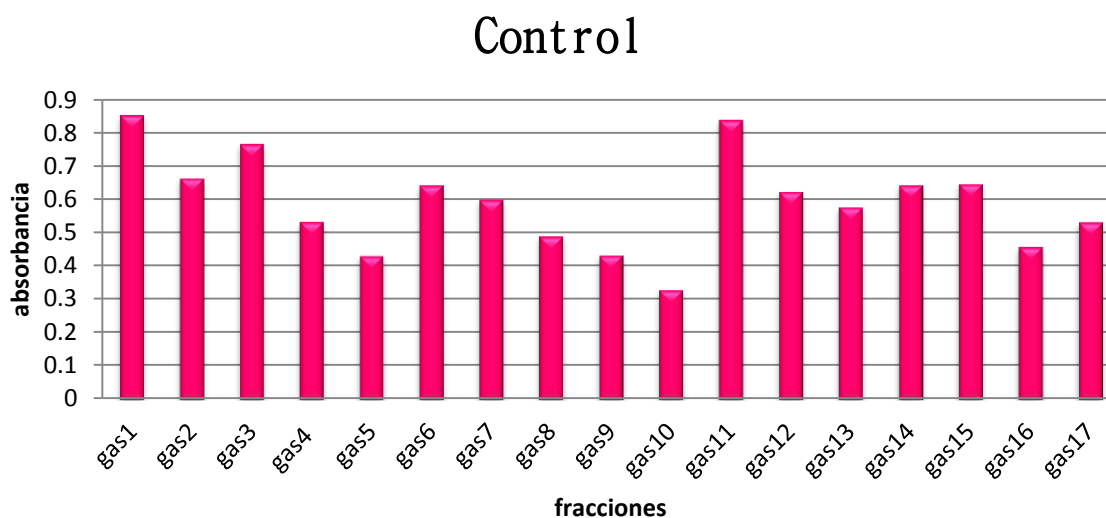


Fig.9 Grafica de absorción de prueba control

En la fig. 9 Se observa la prueba utilizada como control en donde como material filtrante se tuvo la gravilla sílicea. El comportamiento de los datos muestra procesos de saturación de la gravilla entre gas 1 y gas 10 seguida de una

desorción en gas 11 para repetir el proceso en las siguientes fracciones.

Análisis de absorción de fibras de hojas de lirio acuatico

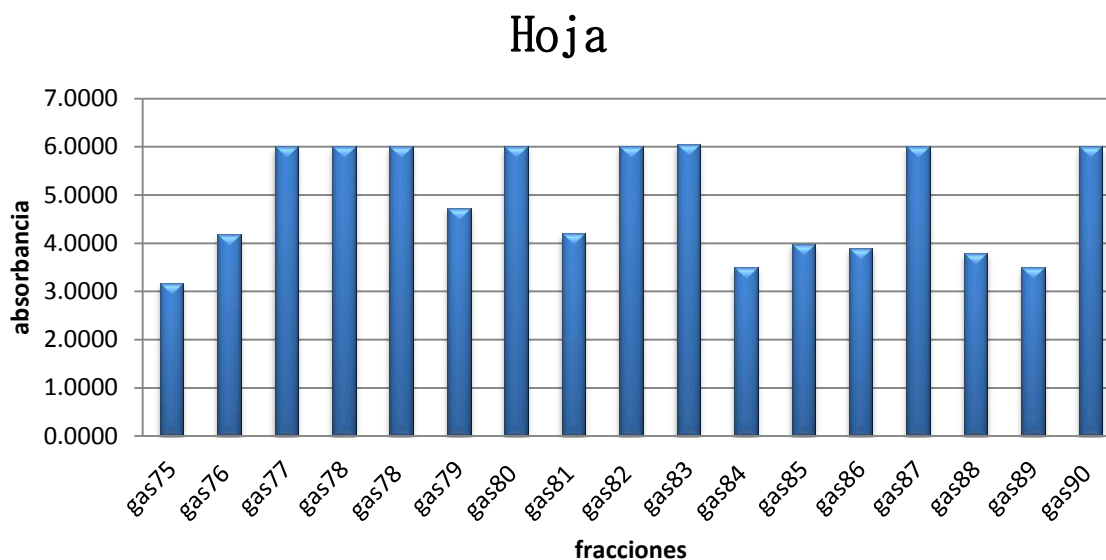


fig.10. Grafica de absorción de fibras de hojas.

En la fig.10 se puede observar que el sustrato proveniente de la hoja presenta un patrón de oscilación donde hay un aumento y disminución de la absorción del hidrocarburo a lo largo de la prueba. Por lo que no hay un proceso claro de absorción debido a que hay ningún rango por debajo de la primera fracción (gas 75).

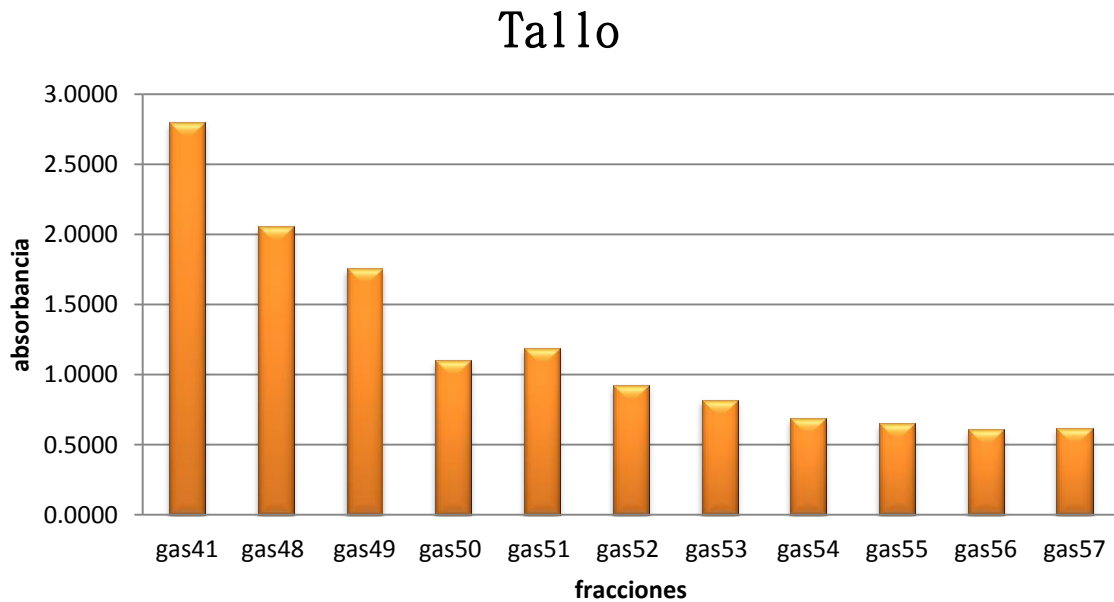
Análisis de absorción de fibras de tallos de lirio Acuático

Fig. 11 Grafica de absorción con fibras tallos de lirio acuático

En la fig.11. Se puede observar un proceso de absorción evidente debido a que se obtuvieron fracciones por debajo de la primera fracción (gas 41), donde se puede notar un comportamiento descendente a lo largo del tiempo que genera la toma de cada fracción.

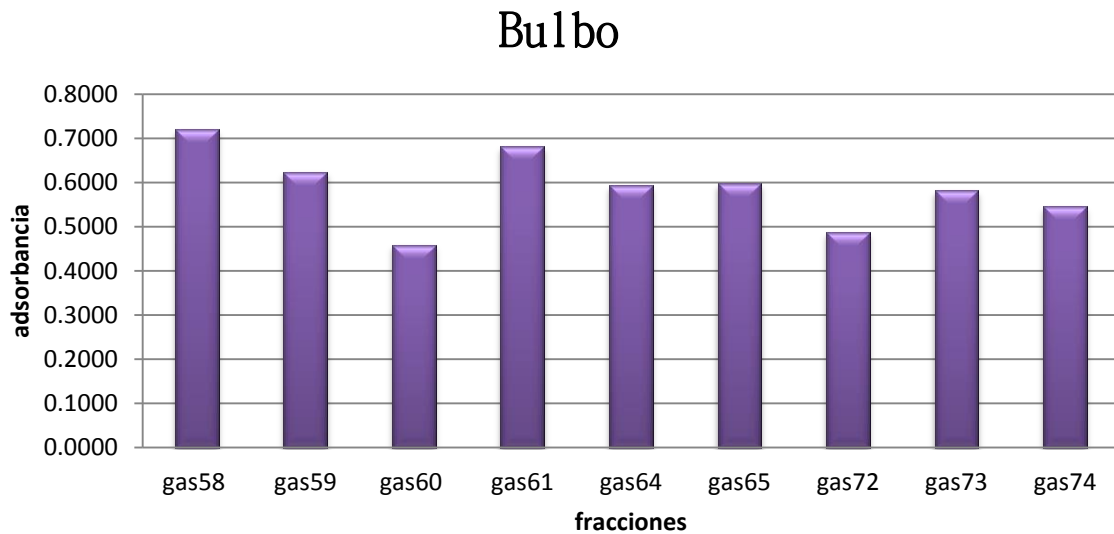
Análisis de absorción de fibras de bulbos de lirio acuático

Fig. 12 Grafica de absorción con fibras de Bulbos de lirio acuático

En la fig.12 donde se utilizó fibra de bulbo se obtuvieron resultados de absorción menos evidentes que los encontrados en tallos, ya que el patrón de la gráfica muestra un proceso de oscilación el cual aumenta y disminuye, sin embargo esto sucede en valores por debajo de la primera fracción (gas 58). Por lo que es probable que haya un proceso de saturación.

Análisis de absorción de fibras de Raíz de lirio acuático.

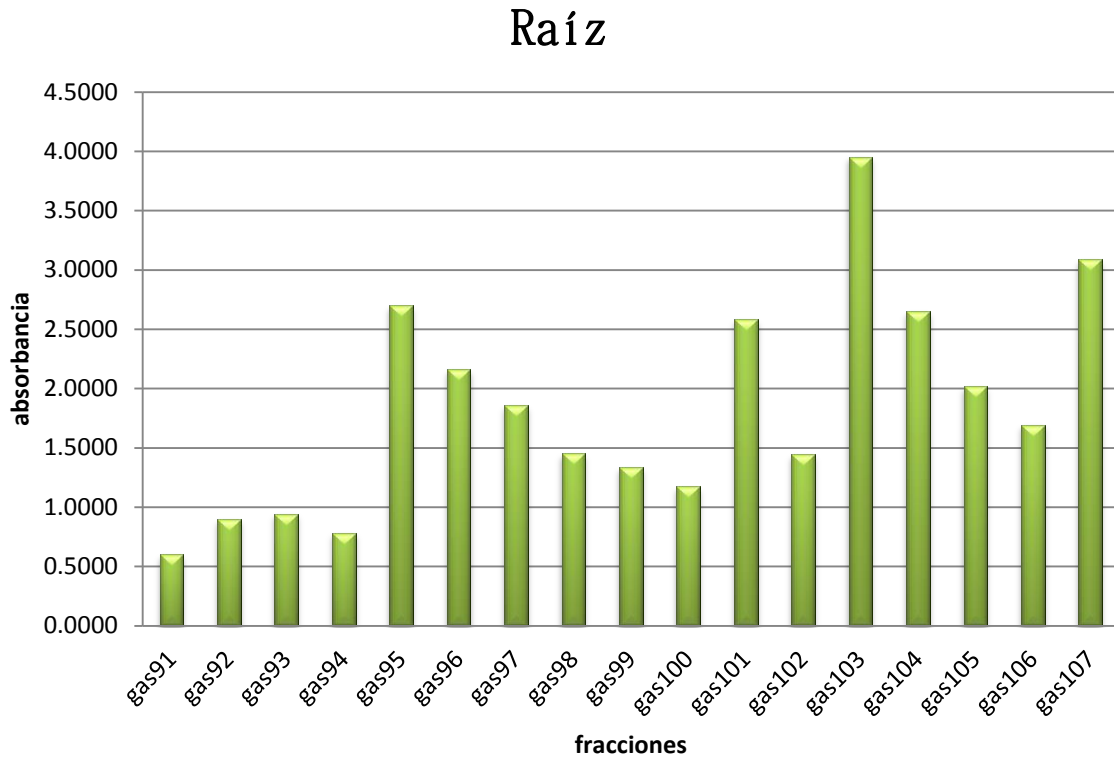


Fig.13 grafica de adsorción con Raíces de lirio acuático.

En la fig.13. El análisis con fibras de raíces no se muestra que haya un proceso de absorción si no que hay un aumento significativo en las lecturas de las muestras durante la prueba.

7.1.2 velocidad de flujo para las diferentes pruebas.

Grafica de velocidad de flujo.

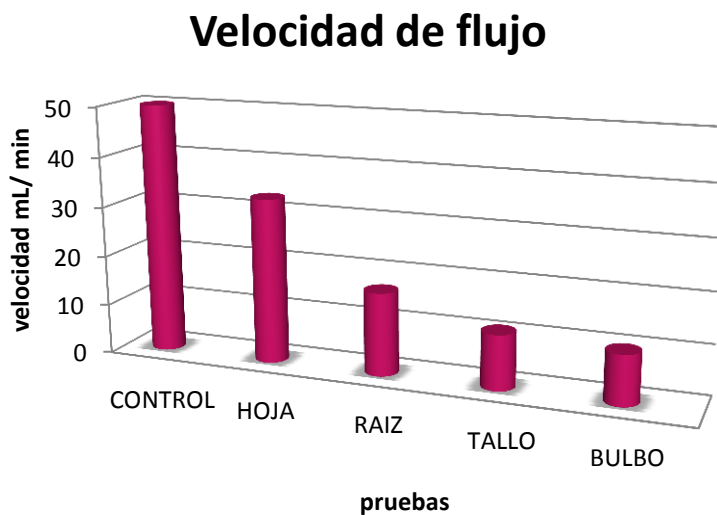


Fig. 14 Gráfica de velocidad de flujo (mL/min) para las diferentes estructuras morfológicas de la planta.

Se puede observar en la fig. 14 que la velocidad de flujo es variable dependiendo de la estructura de la planta. En la prueba control el tiempo es menor en comparación con las otras pruebas con fibras vegetales, ya que pasan 50 mL/min, sin embargo en bulbo que se mostró mayor retención de la solución con una velocidad de flujo de 10 mL/min.

7.1.3 Resultados para pH, color y turbidez

Grafica de comparación de pH en las diferentes pruebas.

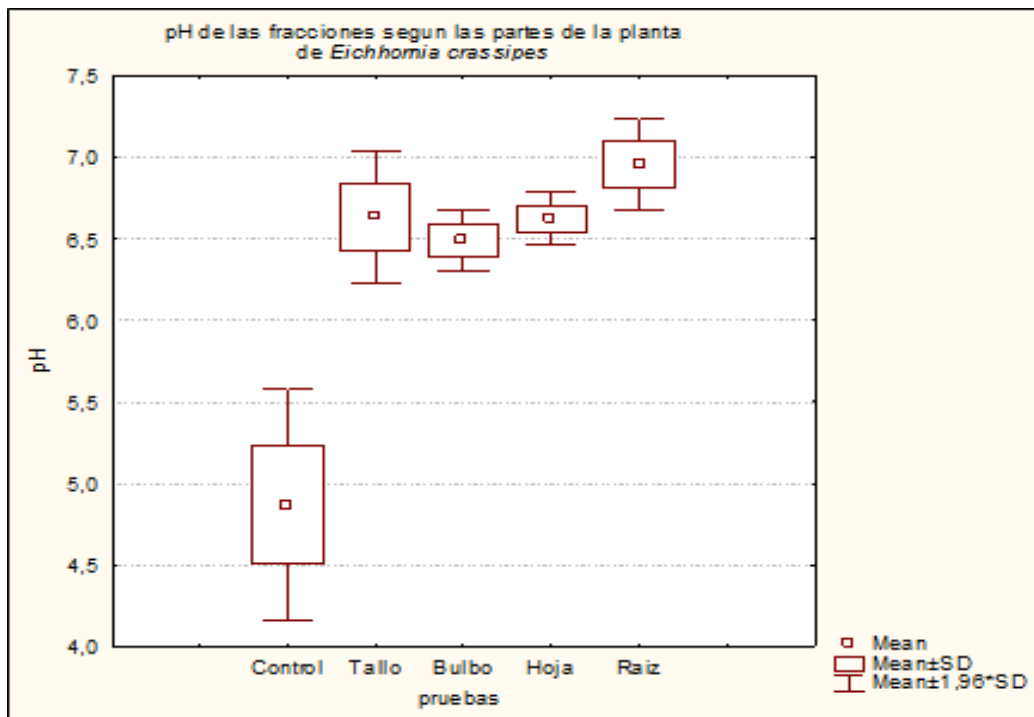


Fig. 15 Grafica de pH de cada prueba.

Con respecto al pH (fig.15) se observó que el lote control presento los valores más bajos con un valor de 4.87 en comparación con todos los lotes experimentales los cuales presentaron valores más altos. El lote experimental con raíz presento el pico máximo para esta variable con 6.95. Hay diferencia significativas entre control y raíz, por lo que tallo, bulbo hoja son similares.

Grafica de comparación de color de las diferentes pruebas.

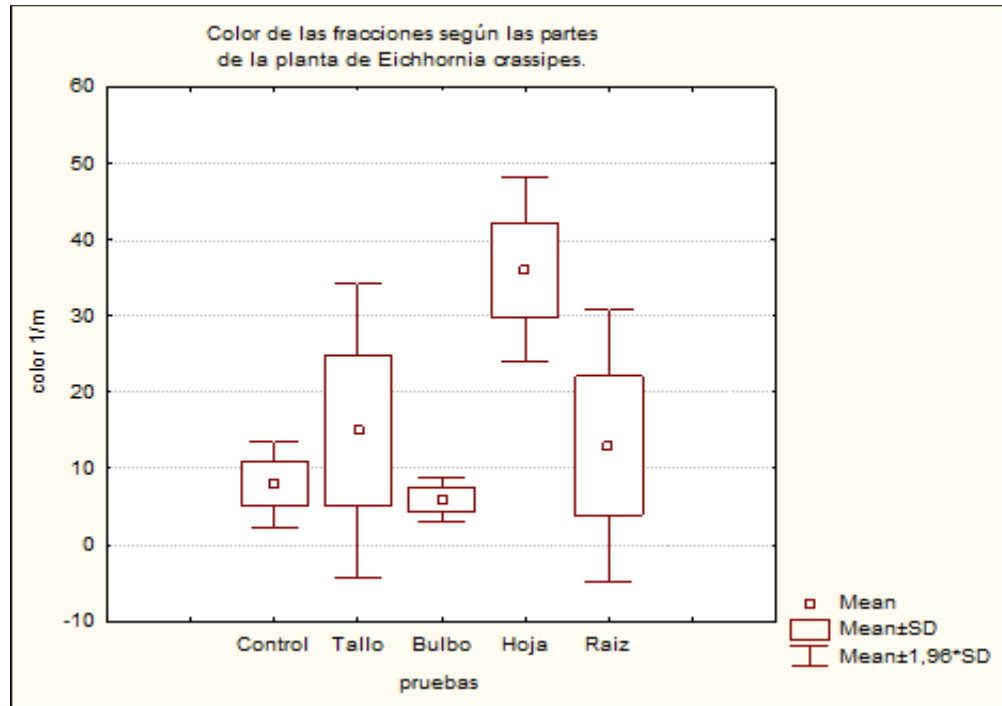


Fig. 16 Grafica de color de las pruebas.

En cuanto a los resultados de color (fig.16) en los diferentes lotes se observó que hay un aumento de esta variable en los lotes de hoja, tallo y raíz con respecto al control por lo que se pueden observar diferencias significativas.

Grafica de comparación de turbidez de las diferentes pruebas.

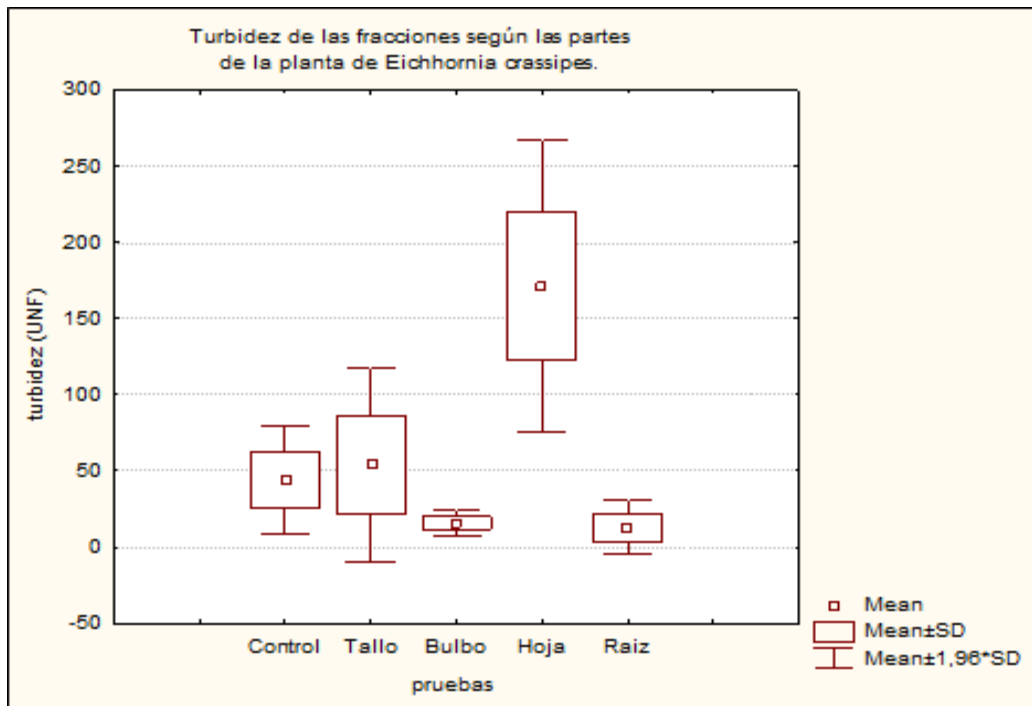


Fig. 17 Grafica de Turbidez de las pruebas

En la fig. 17. Se puede ver que se encuentran diferencias significativas, donde hoja obtuvo un valor de 171NFU, control y tallo resultaron similares con valores de 44-54 NFU respectivamente; bulbo y raíz también son similares con valores de 15-49 NFU respectivamente.

Resultados

7.2 Experimento II (sistema seco)

Remoción de hidrocarburos (gasolina y aceite quemado) por medio de un diseño de almohadillas rellenas de 4 diferentes fibras: lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), Pasto (*Pennisetum clandestinum*), hoja de Mazorca (*Zea mays*), esponja vegetal (*Luffa cylindrica*) en un sistema seco (solo hidrocarburo).

7.2.1 Pesos iniciales y finales de las almohadillas

En la tabla 2 se puede observar los pesos iniciales, los pesos finales, que se obtuvieron al pesar las almohadillas después de ser sumergidas en el hidrocarburo por triplicado y por último se obtuvo el peso adsorbido donde se le resta al peso final el peso inicial.

Tabla 2. Peso inicial (PI), Peso final (PF) y Peso adsorbido (PA) de las 4 diferentes fibras vegetales (por triplicado).

lirio acuatico					
Aceite Quemado			Gasolina		
P.I	P.F	P. adsorbido	P.I	P.F	P. adsorbido
5	29.6	24.6	5	26.2	21.2
5	29.7	24.7	5	25.5	20.5
5	30.7	25.7	5	26.2	21.2
Pasto					
Aceite Quemado			Gasolina		
P.I	P.F	P. adsorbido	P.I	P.F	P. adsorbido
5	27.1	22.1	5	18.5	13.5
5	27.9	22.9	5	20.2	15.2
5	29.8	24.8	5	19.11	14.11

hoja de Maíz					
Aceite Quemado			Gasolina		
P.I	P.F	P. absorbido	P.I	P.F	P. absorbido
5	21.2	16.2	5	15.8	10.8
5	22.5	17.5	5	14.1	9.1
5	20.6	15.6	5	14.4	9.4
Estropajo (<i>Luffa</i>)					
Aceite Quemado			Gasolina		
P.I	P.F	p. absorbido	P.I	P.F	P. absorbido
5	25.2	20.2	5	10.5	5.5
5	24.5	19.5	5	10.9	5.9
5	24.1	19.1	5	12.05	7.05

Graficas de comparación de pesos iniciales con pesos adsorbidos en la prueba de aceite y gasolina.

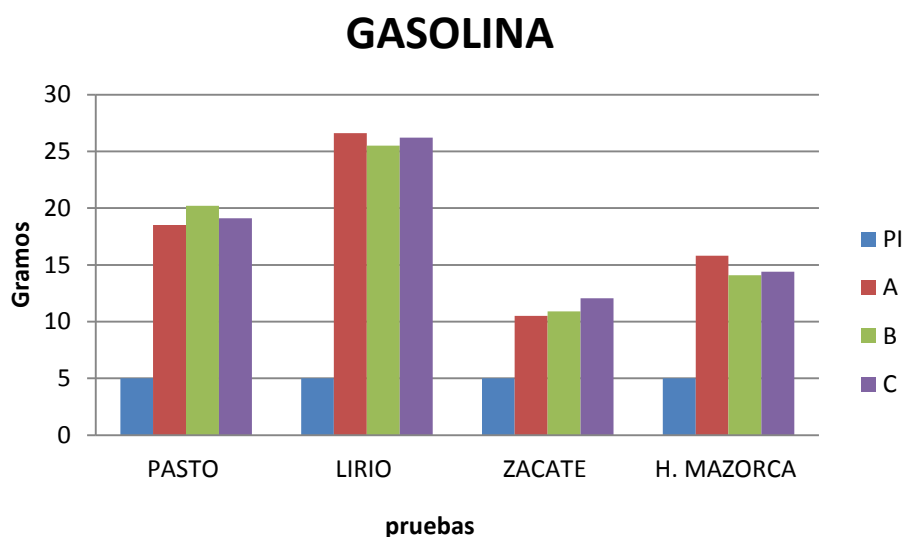


Fig.18. Grafica de comparación de pesos adsorbidos con aceite (PI: peso inicial. A, B, C: pruebas por triplicado).

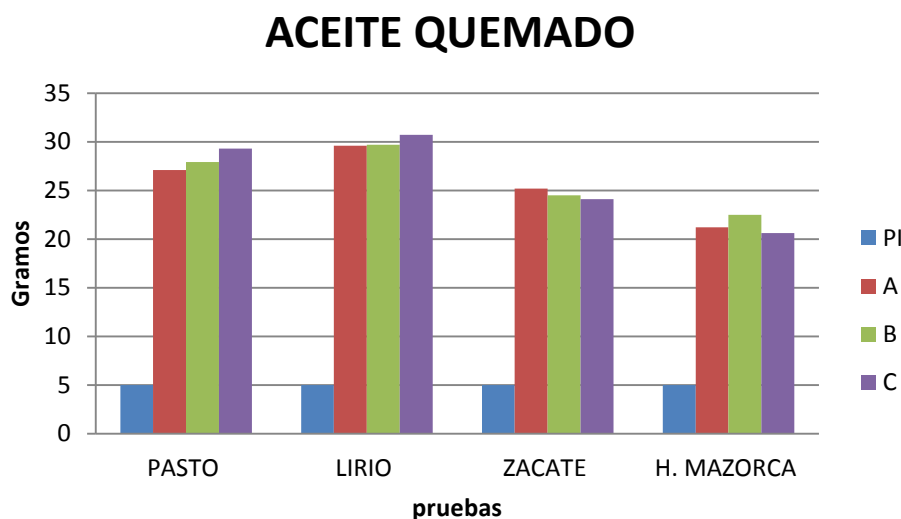


Fig.19. Grafica de comparación de pesos adsorbidos con gasolina.

(PI: peso inicial. A, B, C: pruebas por triplicado).

En las gráficas fig.18 y fig.19. Se muestran las diferencias que se obtuvieron en los pesos finales con respecto al inicial en las pruebas con las diferentes fibras y diferente hidrocarburo. Donde el lirio seguido del pasto son los que más se destacan con valores más altos en la adsorción en las pruebas por triplicado.

7.2.2 Análisis estadísticos

En la tabla 3 se muestran los resultados que se obtuvieron en la prueba Anova para los pesos adsorbidos en la prueba del hidrocarburo ligero (gasolina) y las 4 fibras. Donde se obtuvo ANOVA $F=197.23$; $gl=3$; $p < 0.05$.

Tabla.3. Anova para pesos adsorbidos en la prueba de Gasolina.

GASOLINA					
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1972.485	1	1972.485	3125.761	0.000000
Prueba	373.389	3	124.463	197.234	0.000000
Error	5.048	8	0.631		

Grafica de comparación de las 4 fibras vegetales en pruebas de Gasolina.

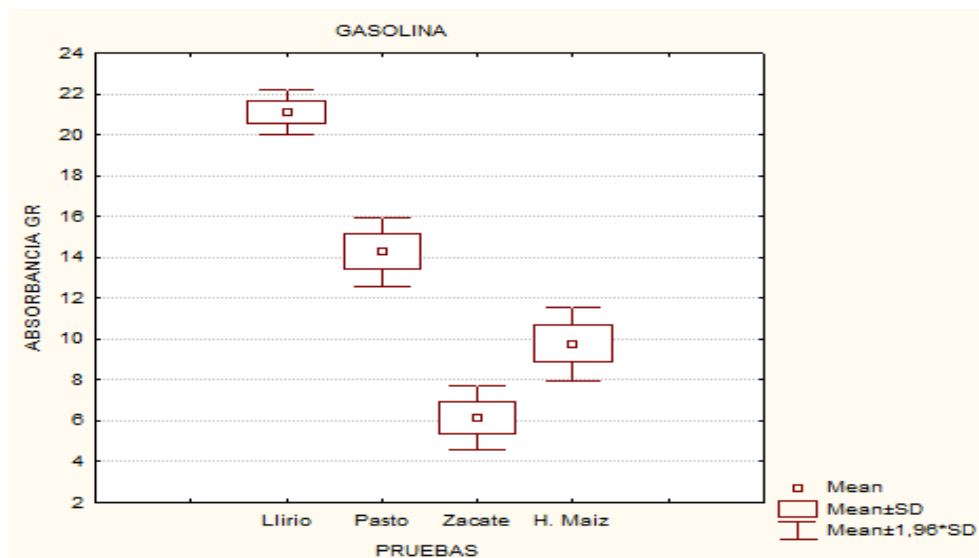


Fig. 20 Grafica de absorción de las 4 fibras en pruebas de gasolina.

En la prueba de Anova (fig.20) de una vía entre las diferentes fibras se muestra que hay diferencia significativa entre cada prueba sobresaliendo el lirio acuatico en la adsorción del hidrocarburo ligero (gasolina).

En la tabla 4 los resultados para del análisis Anova, utilizando aceite quemado dio como resultado que hay diferencias significativas. Donde se obtuvo ANOVA F= 60.377; gl=3; $p < 0.05$.

Tabla.4. Anova para pesos absorbidos en la prueba de aceite quemado.

ACEITE QUEMADO					
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5308.813	1	5308.813	7416.270	0.000000
prueba	129.660	3	43.220	60.377	0.000008
Error	5.727	8	0.716		

Grafica de comparación de las 4 fibras vegetales en pruebas de Aceite Quemado.

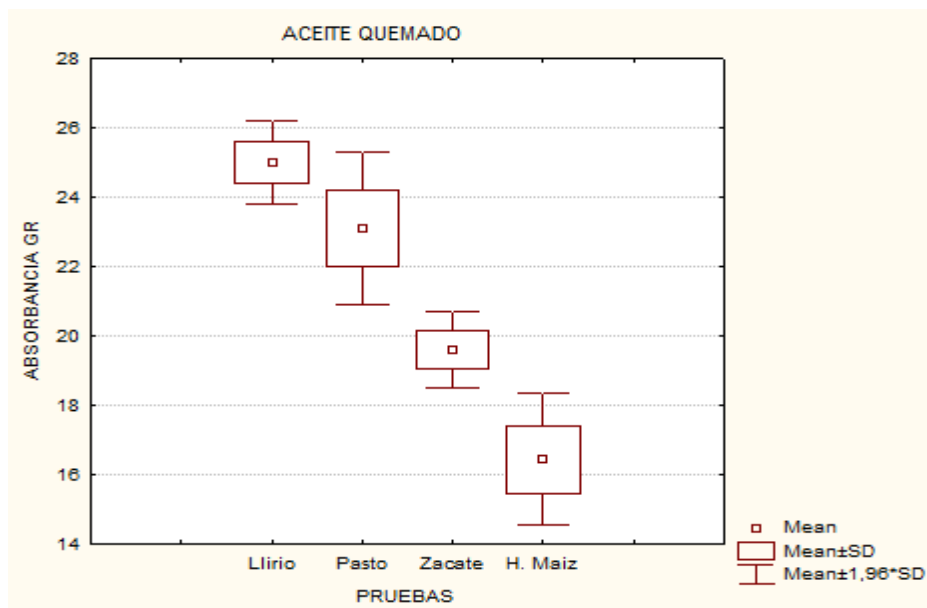


Fig.21. Comparación de Aceite Quemado adsorbido entre las 4 fibras

En la figura 21. Utilizando el hidrocarburo (aceite quemado) para las pruebas con lirio, pasto, esponja vegetal, hoja de maíz, nos da como resultado que hay diferencias significativas entre estas en cuando a la adsorción en gramos. Destacándose nuevamente el lirio acuatico obteniendo las valores más altos.

7.2.3 Análisis de capacidad de adsorción.

En la tabla 5 se puede observar los resultados que se obtuvieron en el análisis de capacidad de adsorción mediante el método ASTM F726-06. Donde se muestra el resultado para las diferentes fibras que se utilizaron las cuales son: lirio acuatico, pasto, esponja vegetal y hoja de maíz; donde la fibra con mayor adsorción utilizando gasolina y aceite quemado es el lirio acuatico (*Eichhornia crassipes*).

Tabla.5. Capacidad de adsorción de hidrocarburos de las 4 fibras vegetales.

Capacidad de adsorción (g h absorbido /g absorbente)			
tipo de absorbente orgánico	tipo de fibra	HC de alta viscosidad	HC de baja viscosidad
		Aceite quemado	Gasolina
	lirio	6	5.2
	pasto	5.6	3.8
	Esponja vegetal	4.9	2.2
	hoja de mazorca	4.2	2.9

Grafica de capacidad de adsorción en un sistema seco.

Capacidad de adsorción

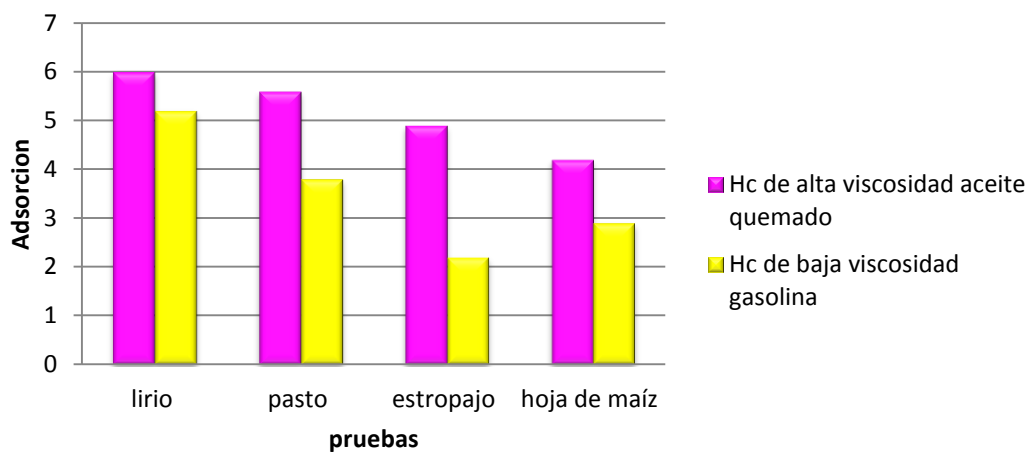


Fig.22.Grafica capacidad de adsorción en sistema seco con dos diferentes hidrocarburos.

En la gráfica (fig.22) se muestran las diferencias en la capacidad de adsorción que hay en cada prueba. Teniendo al lirio acuatico como uno de los mejores adsorbentes con ambos hidrocarburos.

VIII. Discusión

8.1 Absorbancia

Para determinar la absorción de hidrocarburos utilizando el lirio acuático se optó por utilizar el método de lecho fijo, que se explicó en la metodología (fig.5 Y 6.). Las variables que se tomaron en cuenta en este método fue el tamaño de partículas (el cual fue de 0.20 mm). Y la velocidad de flujo (fig. 14) donde la prueba control tuvo una velocidad de flujo 50 mL/min > hoja 33 mL/min > raíz 16.6 mL/min > 11 mL/min > bulbo 10 mL/min. S. M. Torres., (2009) realizaron un estudio en donde analizaron la capacidad de adsorción de *E. crassipes* por medio de ensayos de flujo y concluyeron que esta capacidad depende de variables como la velocidad de flujo y el tamaño de partículas. Por lo que se puede determinar que estas variables van a tener una relación en la capacidad de adsorción. El tamaño de partícula (0.20 mm) que se utilizó se encuentra dentro del rango que Atehortua *et al.* (2013) utilizaron (tamaños variables entre 0,18 a 0,84 mm), lo cual reportaron como óptimo para la adsorción. Debido a que a menor tamaño hay una mayor área de superficie de contacto por cantidad de biomasa, por lo que se incrementa la superficie del sorbente con el hidrocarburo incrementando la adsorción.

Con la velocidad de flujo (Fig.14) se observó que de acuerdo a la parte de la planta utilizada (hoja, tallo, bulbo, raíz) se lleva un mayor tiempo de filtrado. Esto ocurre probablemente a que las diferentes partes de la planta presentan diferentes tejidos, por lo cual va a determinar la capacidad de adsorción. Como se demostró en la parte de resultados (apartado 7.1) las estructuras con más eficiencia en la

retención del hidrocarburo (gasolina) son tallo (fig.11) y bulbo (fig.12) las cuales tomaron un tiempo de 10-11 mL/min de tiempo de filtrado; este tiempo fue inferior al de los otros tejidos por lo que podemos decir que están reteniendo más el fluido. Este comportamiento se puede explicar por la anatomía de estas estructuras ya que los tallos de estas plantas tienen una estructura esponjosa y bulbosa, lo cual es una característica que le permite flotar a la planta. (Atehortua, *et al.*, 2013)

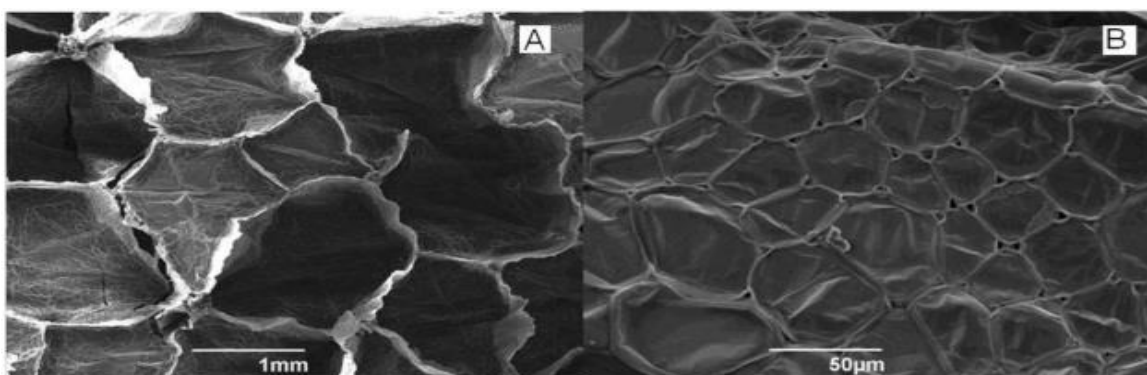


Fig.23. Micrografías SEM del material triturado, corte transversal: A) 1 mm B) 50 m (Atehortua *et al.* 2013)

Como se observa en la fig. 23. La superficie inflada está conformada por cámaras o celdas dando lugar a una estructura porosa, la cual le sirve a la planta para acumular agua y aire en su interior (Atehortua, *et al.* 2013). Esto quiere decir que tiene capacidad adsorbente estando en un estado de deshidratación ya que como se mencionó están constituidas por células de gran tamaño con una gran cantidad de espacios vacíos entre ellas, mientras que la raíz (fig. 13) presenta tejido más compacto y las hojas (fig.10) presentan casi exclusivamente parénquima en empalizada para la realización de fotosíntesis, por lo que con estas partes de la planta no se obtuvieron buenos resultados para la absorción además de presentar

una velocidad de flujo (fig.14) de filtrado que va de 16.6 a 33 mL/min. Mientras que el testigo (fig.9) que carece del tejido vegetal se llevó un tiempo de 50 mL/min. Es probable que entre más esponjoso sea el tejido, se lleve más tiempo la velocidad de flujo de filtrado y por consiguiente mayor retención del hidrocarburo.

Para cuantificar la absorbancia de hidrocarburos utilizando lirio acuático deshidratado y triturado se realizó un análisis de absorbancia por medio de espectrofotometría UV-vis, donde los resultados que se obtuvieron evaluando el agua saliente de la columna fue de 4.45 mg/L de HC, con un peso inicial de 10 mg/L comparando con el trabajo de Leiva-Mas *et al* (2012) donde realizaron una columna de adsorción rellena de bagazo de caña, utilizaron grasas, aceites e hidrocarburos y evaluaron la calidad del efluente de agua residual oleosa a la salida de la columna, dando como resultado para grasas y aceites 4.14 mg/L (peso inicial 25.2 mg/L) y para hidrocarburos 7.00 mg/L (peso inicial 49.36 mg/L). Como se puede observar, la propuesta tecnológica de utilización de la biosorción para la remoción de hidrocarburos utilizando bagazo de caña disminuye considerablemente el poder contaminante de dichas aguas. Así mismo nuestros resultados mostraron que el lirio acuático como bioadsorbente de hidrocarburos nos da un buen resultado ya que este absorbió más del 50 % (5.6 mg/L) del peso inicial (10 mg/L) del hidrocarburo agregado.

8.2. Variables fisicoquímicas

Se analizó el agua resultante de la columna para considerar las características de esta al pasar por el material absorbente. Los resultados para pH se pueden

observar en la fig. 15. El grupo control presenta un pH inferior a 5 mientras que todas las pruebas experimentales (hoja, tallo, bulbo y raíz) que tienen tejido vegetal presentan pH más elevados (6.5-7). Esto indica que está retirando parte del hidrocarburo o de los procesos que acidifican la solución. La materia orgánica funciona a manera de amortiguar el pH y lo pone más estable si hay una regeneración celular, Por lo cual el pH está dentro del rango óptimo para la vida acuática que es de 6,5 a 8,5. La prueba control se encuentra por debajo de un pH de 5 ya que esta al utilizar gravilla de sílice paso la solución sin ningún cambio. Los valores de pH menores de 4,0 o mayores de 10,0 son considerados letales para los peces y otros organismos.

En cuanto al color (fig. 16). los valores más bajos se obtuvieron con respecto a la prueba control que se mantuvo en un promedio de 7.8 y la prueba bulbo con un promedio de 5.9 esto se debe a que el bulbo es una gran cantidad de tejido hueco que funciona exclusivamente para la flotabilidad por la presencia de la aerenquima. Las fibras de tallo (14.9), hoja (36) y raíz (13) presentaron promedios más altos esto debido a que contienen compuestos que la gasolina fue extrayendo, por ejemplo el caso de la hoja que tuvo un promedio de 36 más alto con respecto a los demás, ya que contiene parénquima empalizada rica en clorofila, carotenos, xantofilas que son pigmentos fotosintéticos. El rango permitido para la medición de esta variable es de 5-15 mg/L de Pt-Co Se puede observar que los promedios de las mediciones de color son elevados en cuanto al rango permitido en las pruebas de tallo, hoja y raíz. Por lo que se puede decir que la

relación de los valores altos tiene que ver con la presencia de material orgánico disuelto, mal tratamiento del agua, contaminación, la extracción de color y otros compuestos que hizo la solución sobre la materia orgánica.

Otra de las variables fisicoquímicas que se tomó es la turbidez (fig.17) que está estrechamente relacionada con el color, puede impactar los ecosistemas acuáticos, al afectar la fotosíntesis limitando el paso de la luz solar, la respiración y la reproducción de la vida acuática. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua. Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), la turbidez del agua para consumo humano no debe ser más, en ningún caso, de 5 NTU (unidades nefelométricas de turbidez), y estará idealmente por debajo de 1 NTU. Se puede observar en la fig.17 que el promedio más bajo es bulbo (15.8), seguidos por la prueba control (44), raíz (49), tallo (54) y por último hoja (171). Se puede explicar que las unidades nefelométricas de turbidez salieron muy altas debido a la extracción de moléculas orgánicas principalmente pigmentos de las plantas a la parte exterior que pueden ser biodegradables, teniendo más partículas suspendidas en la prueba de hoja y menos partículas suspendidas en la prueba de bulbo.

Se recomienda analizar en trabajos posteriores, cuales son los pigmentos u otras sustancias que se están extrayendo por el paso de flujo de gasolina como solvente.

8.3. Capacidad de adsorción

Para medir la capacidad de adsorción de las diferentes fibras (lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), hoja de maíz (*Zea mays*), esponja vegetal (*Luffa cylindrica*) y pasto (*Pennisetum clandestinum*) se tomó en cuenta el trabajo de Serrano *et al.* (2011). Donde realizaron pruebas de adsorción de hidrocarburos con dos adsorbentes naturales *Liabsorb-k* (*Hibiscus cannabinus*) y *Liabsorb-m* (100% natural). Para determinar el nivel de adsorción, estos adsorbentes naturales fueron envasados en bolsas de malla sintética anti-insectos reciclada de 50 mesh. Por lo que diseñamos en este trabajo almohadillas con capacidad de 5 gramos con tela Tricot. (fig. 7) Se optó por utilizarlo de esta manera para un mejor manejo de las fibras al momento de retirarlas como también evitar el hundimiento. En cuanto a la metodología se tomó en cuenta a Leiva-Mas *et al.* (2012) donde diseñaron un método donde se pesa aproximadamente 1 gramo de material (Bagazo de caña), se coloca en un recipiente y se le añade el hidrocarburo. Se deja en contacto un tiempo de 15 minutos a presión atmosférica y temperatura ambiente. Luego es filtrado por escurrimiento (1 hora) en un embudo de malla fina y se cuantifica la ganancia en peso por el método gravimétrico. Donde demostraron que el bagazo de la caña de azúcar tiene potencialidades como sorbente de hidrocarburos a la granulometría estudiada (- 2 + 1 mm). En este trabajo se optó por sumergir solo 5 minutos las almohadillas empaquetadas con las diferentes fibras que se eligieron, posteriormente se escurrieron en coladores en un mismo tiempo y por último se obtuvo el peso final (apartado 6.5.4). Realizado este método por triplicado (fig.7)

se utilizó una granulometría de 1.3 mm, que es ligeramente mayor al rango optimo en el trabajo citado anteriormente.

Para el análisis de capacidad de adsorción (fig.22) de las fibras utilizamos el método citado por Tovar *et al.* (2012) donde utilizaron el método ASTM F726-06 (Standard test method for sorbent performance of adsorbents) ellos mencionan que puede ser utilizado debido a que presenta la ventaja de poder aplicarse a las diferentes formas de materiales adsorbentes que existen en el mercado y a un amplio rango de hidrocarburos, además de ser sencillo y práctico.

Utilizaron bagazo de caña, lirio acuatico y musgo. Como contaminante utilizaron diésel, aceite de motor y petróleo crudo.

La capacidad de adsorción es el parámetro que se utiliza para medir el desempeño del material.

- Capacidad de adsorción de hidrocarburo:

$$(g_{\text{hidrocarburoadsorbido}} / g_{\text{adsorbente}}) = S_s / S_0$$

Sus resultados con respecto al lirio fueron $3.6 g_{\text{diesel}}/g_{\text{adsorbente}}$. Con respecto a la prueba de aceite el lirio obtuvo un resultado de $4g_{\text{aceite}}/g_{\text{adsorbente}}$. Utilizando la misma metodología analizamos la capacidad de adsorción con las diferentes fibras que se eligieron para este trabajo. Los resultados (tabla.5) que se obtuvieron con respecto al lirio en el presente trabajo se dan a continuación: para la prueba de gasolina nuestro resultado fue de $5.2 g_{\text{gasolina}}/g_{\text{adsorbente}}$, para la prueba de aceite $6 g_{\text{aceite}}/g_{\text{adsorbente}}$. Se puede ver que el valor más alto se dio con la prueba de

hidrocarburo pesado y el más bajo respectivamente al hidrocarburo ligero. PEMEX clasifica a los hidrocarburos en fracción ligera (gasolina), fracción media (diésel) y fracción pesada (aceite). Por lo que solo podemos comparar los resultados de la prueba de aceite, los valores en esta prueba son altos ya que en la sorción de hidrocarburos pesados, el fenómeno predominante es la adsorción, ya que la viscosidad del hidrocarburo facilita el taponamiento de las estructuras de entrada en los espacios capilares, impidiendo de esta forma que se presente la absorción de forma significativa. Esto es de forma rápida ya que la adsorción es de forma física por medio de interacciones de Van der Waals, esta alcanza una condición de equilibrio entre el adsorbato adsorbido y el disuelto, inmediatamente después del contacto con el adsorbente.

En la sorción de hidrocarburos de fracción ligera (gasolina), el fenómeno predominante es la absorción ya que por la composición de estos hidrocarburos permite capturar cierto volumen fluido dentro de los espacios porosos del aditivo por medio de la acción capilar, osmótica o química incorporándose así al cuerpo del material absorbente. En el hidrocarburo medio (diésel) se presentan los dos fenómenos: adsorción y absorción, por lo cual la capacidad de sorción de este hidrocarburo es mayor que la sorción de hidrocarburo ligero (González *et al.*, 2006)

Para el análisis de capacidad de adsorción de *Luffa cylindrica* se utilizó el mismo método ASTM F726-06 donde los resultados (tabla 4) que se obtuvieron en las pruebas son: gasolina $2.2 \text{ g}_{\text{gasolina}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y $4.9 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$. Estos resultados los vamos a comparar con el trabajo de Annunciado *et al.* (2005) donde

llevaron a cabo una investigación experimental con materiales sorbentes de varias fibras vegetales, entre estas fibras: una mezcla de residuos de hojas, aserrín, henequén (*Agave sisalana*), fibra de coco (*Cocos nucifera*), esponja vegetal (*Luffa cylindrica*) e hilo de seda. Y como contaminante utilizaron petróleo crudo, hidrocarburo de fracción pesada al igual que el aceite. Los resultados para la esponja vegetal en el sistema seco con granulometría de 0.85-1.70 mm (la cual entra dentro del rango de la granulometría (1.3 mm) de nuestro trabajo) es $4.6 \frac{g_{\text{crudo}}}{g_{\text{sorbente}}}$, un resultado muy similar al que obtuvimos en nuestra prueba. En el trabajo de Annunciado *et al.* (2005) no utilizaron hidrocarburo de fracción ligera (gasolina) pero podemos decir que el resultado que obtuvimos con respecto a la adsorción de gasolina utilizando *Luffa cylindrica* fue bajo ya que obtuvimos el siguiente resultado

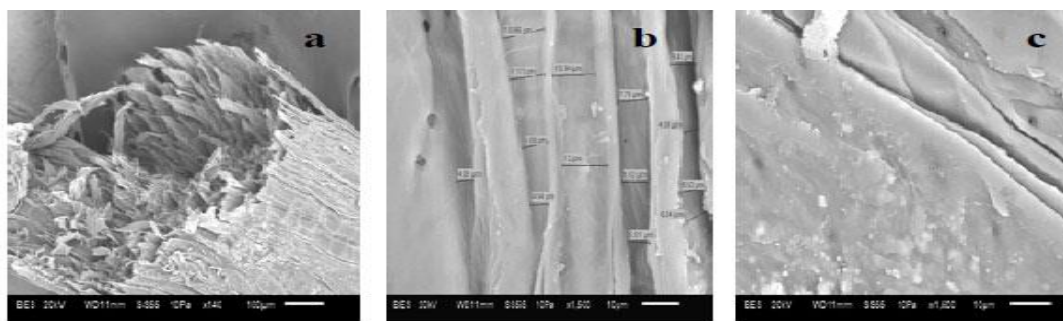


Fig. 24. Imágenes de SEM de fibras de *Luffa* a diferentes aumentos: a) x140, b) x1500 y c) x1500. (Martínez-Barrera *et al.* 2013)

2.2 $\frac{g_{\text{gasolina}}}{g_{\text{adsorbente}}}$ (el cual es inferior al 50 % obtenido por el lirio). Algo que pueda estar influyendo es el tamaño de los poros como se muestra en la fig. 24a, en la fig. 24b en donde se observa una superficie rugosa con partículas de lignina con diferentes formas y la presencia de microcanales con anchuras que van de 4 a 12 μm (xilema). En la fig. 24c se observa la presencia de una delgada capa de

lignina y hemi-celulosa que cubre las fibrillas celulósicas y estas superficies presentan espacios muy pequeños ricos en fibras de lignina impermeable al agua que puede presentar procesos de adsorción no así de absorción ya que la presencia de lignina impide el contacto de toda la superficie vegetal con el hidrocarburo, por lo que esta puede ser una posibilidad de la explicación de la baja adsorción del hidrocarburo con este material.

Los resultados (tabla. 5) que obtuvimos en el análisis de capacidad de adsorción con el material de fibras de pasto (*Pennisetum clandestinum*) son los siguientes: con hidrocarburo de fracción pesada (aceite) el resultado es de $5.6 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y el resultado para la prueba de hidrocarburo de fracción ligera (gasolina) es $3.8 \text{ g}_{\text{gasolina}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$. Estos resultados son mayores a los presentados con *Zea mays* y *Luffa cylindrica*, y más próximos a *Eicchornia crassipes*. Por lo que este también podría considerarse un adecuado material de biofiltros. El tejido esta principalmente constituido por células epidérmicas y parénquima en empalizada así como parénquima esponjoso con un poco de tejido de conducción. Esto lo convierte en un tejido muy similar a la hoja de lirio acuatico. La diferencia es la presencia del tejido esponjoso (aerenquima) en el bulbo del lirio.

En la prueba de hoja de mazorca (*Zea mays*) los resultados (tabla 5) que se obtuvieron para el análisis de capacidad de adsorción en la prueba de gasolina es de $2.9 \text{ g}_{\text{gasolina}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ este resultado es mayor con respecto al pasto y para la prueba de aceite $4.2 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ es menor con respecto a todas las fibras que

se utilizaron. La hoja de maíz presenta fibras de gran tamaño presentes en las venaciones a todo lo largo de la hoja ricas en lignina. Debido a lo cual se ha utilizado para la elaboración de prendas de vestir y celulares biodegradables.

Por último se puede observar en la tabla 5 que el aceite tuvo valores más altos que la gasolina esto se podría explicar por su viscosidad que hace que tenga un proceso de adsorción rápido en las fibras.

IX. Conclusiones

- Se determinó en el análisis de espectrofotometría UV-vis, que el lirio acuático tiene la función de adsorbente de hidrocarburos en específico tallo y bulbo por sus características morfológicas donde se demuestra que adsorbió 5.6 mL/L del hidrocarburo agregado (10 mL/L). lo cual se puede suponer que con 10 g de fibra se puede retirar 5.6 mL/L de hidrocarburo.
- El análisis de pH, color y turbidez nos dan como resultado que hay diferentes compuestos que se están extrayendo por el hidrocarburo que se utilizó (gasolina) el cual actúa como solvente de extracción no polar e interfieren en un cálculo con mayor exactitud en la espectroscopia UV-vis.
- Las fibras que se eligieron tuvieron diferentes capacidades de adsorción de hidrocarburos por la constitución morfológica de cada fibra orgánica. Por lo que se determinó que el uso de las fibras de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) tuvo una mejor función con respecto a las otras fibras, donde el lirio obtuvo $6\text{g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y $5.2\text{g}_{\text{gasolina}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ > pasto (*Pennisetum clandestinum*) $5.6\text{g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y $3.8\text{g}_{\text{gasolina}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ > hoja de maíz (*Zea mays*) $4.2\text{g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y $2.9\text{g}_{\text{gasolina}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ > esponja vegetal (*Luffa cylindrica*) $4.9\text{g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y $2.2\text{g}_{\text{gasolina}}$ por lo que resultan factibles para la remoción de hidrocarburos en mayor o menor proporción.

XI. Bibliografía

- Atehortua Elizabeth, Gartner Carmiña. (2013). “Estudios preliminares de la biomasa seca de *Eichhornia crassipes* como Adsorbente de plomo y cromo en aguas”. Grupo de Ciencia de los Materiales, Universidad de Antioquia. Revista Colombiana de Materiales N.4. pp. 81 – 92
- Annunciado, T.R. Sydenstricker, T.H.D. y Amico, S.C. (2005). Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills. Marine Pollution Bulletin 50, 1340-1346.
- Burton, J. (2005). Water hyacinth *Eichhornia crassipes*, New South Wales: NSW. Departement of Primary Industries. AGFACT P7.6.43. 6.
- Batcher, M. S. (2001). Element stewardship abstract for *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms- Water hyacinth. The Nature Conservancy Wildland Invasive Species Program.
- Cabrera C., N. Bonilla, M. Tornero y A.T. Castro. (2010) Monitoreo de coliformes fecales y huevos de helmintos en agua y sedimentos (lodos) de la presa Manuel Ávila Camacho. Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Ciencias Ambientales y Agricultura. Instituto de ciencias. Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pp. 2-4
- Carrión Cristóbal, Ponce-de León Claudia, Cram Silke, Sommer Irene, Hernández Manuel, Vanegas Cecilia. (2012). “Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para

Fitorremediación de metales”. Facultad de Ciencias, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Cedeño-Valdés P., D. L. Tellez-Nuñez. F. Pacheco G., G. Rosano-Ortega, J.A. Ascencio-Gutiérrez. (2010). Química y fitorremediación de la presa Manuel Ávila Camacho “Valsequillo”, Puebla, Pue. Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Universidad Autónoma del estado de México (UAEM). Facultad de Química. Universidad del estado de Puebla, A.C. (UPAPEP). PP. 1-2.
- CONAGUA, SEMARNAT. “Sistema para monitoreo de presas. “Presa Manuel Ávila Camacho”. (Valsequillo) (en línea) (2008). Disponible en la web: <http://cna.imta.mx/wwwcna/index.php/home/61-valsequillo-html>.
- Center, T. D., Hill, M. P., Cordo, H. & Julien, M. H. 2002. Water hyacinth. FHTET-2002-04. Biological control of invasive plants in the Eastern United States. USDA Forest Service. 413.
- DeLaune R.D., Pezeshki S.R., Jugsujinda A. y Lindau C.W. (2003). “Sensitivity of US Gulf of Mexico coastal marsh vegetation to crude oil: Comparison of greenhouse field responses”. *Aquat. Ecol.* 37, 351-360.
- Fernández-Linares, L.C. Rojas-Avelizapa, N. G. Roldán-Carrillo, T. G. Ramírez-Islas, M. E. Zegarra Martínez, Héctor G. Uribe-Hernández, R. Reyes Ávila, R. J. Flores-Hernández, D. Arce-Ortega, J. M. (2006). “Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados”. Instituto Mexicano del Petróleo. México, D.F. 180 p.

- Fernández Tenorio, J., & Arcila González, L. F. (2008). “Estudio de la fracción insaponificable obtenida del aceite extraído de la semilla de la *Luffa cylindrica*”.
- Galán C. Patricia. Ambiente Ecológico WWW. [En línea]. Contaminación Petrolera (2013). [fecha de consulta: 12 septiembre 2014]. Disponible en www.ambiente-ecologico.com/revist30/contpe30.htm
- González, D. P. O., Fonseca, F. A., Niño, G. R., & Ruiz, L. C. M. (2006). “Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua”. *Ingeniería e Investigación*, 26(2), 20-27.
- González, A.U. (1995). “El maíz y su conservación”. 1a. ed. Trillas. México. 399 p.
- Heike Vibrans (ed). (2009) “Malezas de México” (Conabio), 21/08/14
- Harley, K. L. S. 1996. Capítulo 6. Malezas acuáticas. Manejo de malezas para países en desarrollo. (Estudio FAO Producción y protección vegetal - 120). Ed. por Labrada, R., Caseley, J. C. & Parker, C. Roma: FAO
- IMO. (2005). “Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos”. Arkle Print Ltd. Northampton.
- IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). (2007). Biomasa: Cultivos energéticos. Madrid. 56 p
- Imba, C.E.G. y C.L.M. Tallana. (2011). “Aceptabilidad del bagazo de caña, rastrojo de maíz y tamo de cebada en bloques nutricionales como remplazo del maíz”.

- ITOPF. (2010). Case histories. Recuperado el 21 de marzo de 2012 de <http://www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/case-histories/>
- INEGI (1987). Síntesis geográfica; nomenclatura y anexo cartográfico del estado de Puebla, México. pp. 2-56.
- “Infraestructura hidráulica. Grandes presas de México”. (en línea) Octubre 2008. Disponible en la web: <http://www.skyscrapercity.com/showpost.php?p=25757248&postcount=84>
- Jiménez, M. M. (2010). Control biológico de plantas acuáticas exóticas invasoras.
- Leiva-Mas, Jorge; Martínez-Nodal, Pastora de la C.; Esperanza-Pérez, Guillermo; Rodríguez-Rico, Iván L.; Gordiz-García, Carlos E. (2012). “Absorción de hidrocarburos en columnas rellenas con bagazo: una solución sostenible”. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, Septiembre-Diciembre, 36-44.
- Ly J., Samkol P. y Preston T.R. (2002) “Nutritional evaluation of aquatic plants for pigs: Pepsin/pancreatin digestibility of six plant species”. *Livestock Research for Rural Development* 14(1)
- Lot A. H., y Novelo A. (2001). Pontederiaceae. En Calderón G. de Rzedowski y J. Rzedowski. 2da. Edición. Flora fanerogámica del valle de México. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. pp 274-276.
- LandProtection. 2007. Water hyacinth *Eichhornia crassipes*. LandProtection

Queensland Governement.

- Mager Stellman Jeanne, Osinsky Debra y Markkanen Pia. (2001). “Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo”. España: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.
- Miranda, A. M. G. & Lot, A. H. (1999). El lirio acuático ¿una planta nativa de México? *Ciencias*. 53: 50-54.
- Martínez-Barrera, Gonzalo, Martínez-López, Miguel, & Martínez-Cruz, Elisa. (2013). Concreto Polimérico Reforzado con Fibras de Luffa. *Información tecnológica*, 24(4), 67-74.
- Martínez Hernández Guadalupe Yumiko y Mejía Ponce Fátima Susana. (2013). XVII Concurso Universitario Feria de Ciencias. Instituto Juárez preparatoria clave 1501.
- Martínez, M. P., Hernández, J. A., Aguilar, B. B., Juárez, H. P., Radillo, J. J. V., & Urquiza, M. R. (2012). “Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta”. *Madera y bosques*, 18(3), 37-52.
- Mangas-Ramírez E., M. Sánchez M., H. Molina A. L. M. García-Flores, I Muñoz-Gutiérrez, J. L. Zumaquero R. (2008). “Análisis de las políticas de rehabilitación de presas: el caso de la presa de Valsequillo en el estado de Puebla”. Escuela de Biología BUAP. pp. 1-2
- Metcalf y Eddy Inc (1995) Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill/interamericana de España S.A. 1485 pp.

- Méndez-Tovar, Marcela; Machado-Soberanes, J.A.; Guerra Sánchez, R. (2012). Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de hidrocarburos sobre cinco materiales adsorbentes tipo II utilizando un método estandarizado internacional. *Tecnología, Ciencia, Educación*, Julio-Diciembre, 94-100.
- Meas-Vong (2002). Rehabilitación integral de mantenimiento de cuerpos de agua infestados por lirio acuático, caso presa La Soledad parte II. Cuaderno de trabajo Sistema de Investigación Miguel Hidalgo. CNCT Querétaro. Pp. 9-11
- Novelo A., y Ramos L. (1998). Flora del bajío y de regiones adyacentes. Pontederiaceae. Instituto de Biología UNAM. México. Fascículo 63 pp.4-5
- Olguín Eugenia J., Hernández María Elizabeth y Sánchez-Galván Gloria. (2007). "Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración". *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23 (3) 139-154
- Olivera B. Campaña de Energía y Cambio Climático de Greenpeace. [En línea]. *Impacto Ambiental del Petróleo* (2012) [Fecha de consulta: 3 agosto 2014]. Disponible en:
www.greenpeace.org/Mexico/global/mexico/report/2012/1/impactos_ambientales_petroleo.pdf
- Romero Villegas A.C y Rico Rodríguez M. A. (2008). Determinación del tiempo máximo de absorción de cadmio por macrofitas acuáticas en

condiciones de laboratorio. Facultad de ciencias químicas. Universidad Autónoma de Zacatecas.

- Ribeiro, T.H., Rubio J. y Smith R.W. (2003). A dried hydrophobic aquaphyte as an oil filter for oil/water emulsions. *Spill Sci. & Tech. B.* 8, 483-489.
- Rzedowski, G. C. & Rzedowski, J. (2004). Manual de malezas de la región de Salvatierra, Guanajuato. Flora del Bajío y regiones adyacentes. Patzcuaro, Michoacán, México. Fascículo complementario XX. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío.
- S. M. Torres. (2009) “Estudio del aprovechamiento del lechuguín, *Eichhornia crassipes*, del embalse de la represa Daniel Palacios como biosorbente de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales.” Tesis para la obtención del título de ingeniería ambiental. *Universidad Politécnica Salesiana*, México.
- Saval, B. S. (1995). *Acciones para la Remediación de Suelos en México*. Segundo Mini simposio Internacional sobre Contaminantes del Agua y Suelo. Instituto de Ingeniería. UNAM.
- Saval, S., Lara, F., Lesser, J., & Nieto, J. (2004). Contaminación de acuíferos con hidrocarburos: causas, efectos, riesgos asociados y medidas de prevención. El agua en México vista desde la Academia. *México: Academia Mexicana de Ciencias*, 233-249.
- Silos-Rodríguez, J.M. (2008). Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos. Universidad de Cádiz. Cádiz, España.

- Suchanek, Thomas H. (1993) "Oil Impacts on Marine Invertebrate Populations and Communities". *American Zoologist*. 33(6):510-523; doi:10.1093/icb/33.6.510.
- USEPA. (1999). *Understanding Oil Spills and Oil Spill Response*. Autor. Estados Unidos de América
- Vinent Serrano E., Fajardo Gutiérrez O., Batista García R. A., Martínez Cruz A. L., Sánchez Reyes A., Beltrán Pérez L.M., Izquierdo E. Dy Núñez de Villavicencio Forte K. (2011). "Explotación sostenible del Kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L.). Absorbentes naturales de hidrocarburos. *Temas de ciencia y tecnología*, vol 15, pp 23-30.
- Vibrans, H. (2009). *Eichhornia crassipes*. *Malezas de México*. CONABIO.
- Wei, Q.F., Mather, R.R., Fotheringham, A.F., Yang, R.D. (2003). Evaluation of nonwoven polypropylene oil sorbents in marine oil-spill recovery. *Marine Pollution Bulletin* 46, 780-786.
- Williams, A. E. ND. *Water hyacinth (Eichhornia crassipes)*. University of Waterloo y FIRRI (Uganda)

XII. Anexo I

12.1. Biología del lirio Acuático.

El crecimiento del lirio es favorecido por aguas ricas en nitrógeno, fósforo y potasio. La habilidad de esta planta para absorber nutrientes y otros elementos ha sido ampliamente investigado, ya que también absorbe calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, aluminio, boro, cobre, molibdeno y zinc (Harley, 1996).

12.2. Comportamiento.

Se caracteriza por su tolerancia a climas extremos (Burton, 2005), invade los cuerpos de agua con facilidad, debido al tipo de dispersión a través de propágulos que desarrolla, y es capaz de duplicar su biomasa cada 6-18 días, dependiendo de las condiciones ambientales (Williams, ND).

12.3 Temperatura.

Aunque *E. crassipes* tolera una amplia gama de condiciones para su crecimiento, no tolera los cambios climáticos extremos ni las heladas (Burton, 2005). Geográficamente *E. crassipes* se encuentra limitado a latitudes tropicales o subtropicales (Meas-Vong, 2002).

12.4. Reproducción.

Una vez liberadas las semillas pueden permanecer viables durante 20 años (Burton, 2005). La reproducción vegetativa (asexual) consiste en la separación de brotes que forman una nueva planta que, al desarrollarse en condiciones

ambientales adecuadas, puede llegar a formar individuos capaces de reproducirse (Batcher, 2001).

La reproducción sexual se realiza a través de las semillas de la planta, este ciclo dura más de cinco meses. Un requisito indispensable para que la germinación ocurra rápidamente, es la escarificación o rompimiento de la cubierta externa (Miranda y Lot, 1999). La reproducción sexual *E. crassipes* se lleva a cabo a través de semillas, producidas en la base de cada flor. Las plantas hijas, permanecen pegadas a la planta madre hasta que el viento u otro factor mecánico causa el rompimiento y dispersión (LandProtection, 2007). La floración puede iniciar desde el mes de Octubre y continúa a través de los meses de verano. En cada uno de los tallos continúa abierta una flor por uno o dos días. Cuando todas las flores de una planta se han marchitado, el tallo pierde presión dentro del agua y después de 18 días, las semillas son liberadas de la base de la cápsula de cada flor muerta (LandProtection, 2007).

12.5. Competencia.

En general, el lirio compite con otras especies de hidrófilas libres flotadoras (*Azolla spp.*, *Hydromistris tolonífera*, *Pistiastratiotes*, *Lemna spp.*, *Salvinia spp.*) en mosaicos densos y típicos de este tipo de comunidades naturales (Miranda y Lot, 1999).

12.6. Depredación.

Entre sus depredadores naturales más comunes se encuentran: los gorgojos *Neochetinae ichhorniae* (Coleoptera: Curculionidae) y *Neochetina bruchi* (Coleoptera: Curculionidae), la polilla *Niphograptia albiguttalis* (Lepidoptera: Pyralidae) y el ácaro *Orthogalumna terebrantis* (Acarina: Galumnidae) (Center et al., 2002). Una de las características más importantes de estos depredadores es la diversificación en el tipo de estructuras que consumen de la planta, por lo que el uso de varios tipos de insectos a la vez causa serios daños a las poblaciones de lirio, logrando así su control natural (Center et al., 2002).

12.7. Dispersión.

Es una planta muy resistente que también puede propagarse como resultado del movimiento de los órganos vegetativos en los ríos, lagos adyacentes, canales o diques, o bien por las inundaciones que pueden acarrear propágulos (Miranda y Lot, 1999). *E. crassipes* se puede dispersar con la ayuda de polinizadores especializados, como la abeja con lengua larga (*Ancyloscelis gigas*) que se ubica únicamente en la región amazónica (Miranda y Lot, 1999). La distribución actual de *E. crassipes* es el resultado de la combinación del desprendimiento de plántulas por las corrientes de agua, extracción de propágulos por parte del ser humano, el desecho de plantas muertas en río, lagos y demás cuerpos de agua, por las labores de limpieza usando lanchas que no han sido limpiadas adecuadamente, la práctica de deportes como el canotaje y por el uso ornamental

en acuarios (Miranda y Lot, 1999).

12.8 Ciclo de vida.

En el centro de México florece de agosto a octubre y en el sur de Estados Unidos de abril a julio (Vibrans, 2009)

12.9. Esperanza de vida.

Una vez liberadas las semillas pueden permanecer viables durante 20 años (Burton, 2005).