UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Maestría en Ciencias del Ambiente

Uso de los pastos *Panicum maximum Jacq* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst* para determinar su eficiencia como absorbente de hidrocarburo

Trabajo de intervención

Maestra en Ciencias del Ambiente

P r e s e n t a

I.Q. Mariela Lazcano Vargas

Director:
Dr. Israel Hernández Romero

Co-director:
Dr. Rodrigo Cuervo González

Tuxpan, Veracruz 2018

Tuxpan de Rodríguez Cano Ver. A 15 de enero 2018

El presente trabajo de intervención titulado: **"Uso de los pastos Panicum maximum Jacq y Cynodon nlemfuensis Vanderyst para determinar su eficiencia como absorbente de hidrocarburo"**, realizado por el IQ. Mariela Lazcano Vargas, bajo la Dirección del Dr. Israel Hernández Romero y asesoría del consejo particular del Dr. Rodrigo Cuervo González, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

Dr. Israel Hernández Romero
DIRECTOR

Dr. Rodrigo Cuervo González
CODIRECTOR

Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

Revisión del Trabajo de Intervención de la alumna: ING. QUIM. **Mariela Lazcano Vargas**

JURADO EXAMINADOR

NOMBRE	FECHA	DICTAMEN	FIRMA
Dr. Noé Velázquez Rosas	01/02/18	Aprobado	
Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera	06/02/18	Aprobado	
Dr. Juan Manuel Pech Cachó	15.02.18	Aprobado	

En la presente revisión se acordó que el Trabajo de Intervención denominado "Uso de los pastos Panicum maximum Jacq y Cynodon nlemfuensis Vanderyst para determinar su eficiencia como absorbente de hidrocarburo" que presenta la sustentante para obtener el Grado de Maestra, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada

A mi director de tesis Dr. Israel Hernández Romero, por su apoyo y motivación durante todo el desarrollo de la tesis.

A mi codirector el Dr. Rodrigo Cuervo González por su apoyo en el desarrollo de la tesis.

A la Facultad de Ciencias Químicas de Poza Rica por otorgarme las facilidades para el uso de laboratorio.

Al Maestro en Ingeniería Petrolera y Medio Ambiente Humberto Echavarría Guzmán por el apoyo durante el desarrollo de la tesis.

Índice

Resumen 1

I. Introducción 3

II. Antecedentes 5

2.1 Importancia de los hidrocarburos 5

2.2 Derrames de hidrocarburos y sus consecuencias 6

2.3 Técnicas de recolección y contención de derrames 6

2.3.1 Método de evaluación de un material absorbente de hidrocarburo 9

2.4 Pastos exóticos invasores 10

2.4.1 Caracteristicas y composición de *P. maximum* y *C. nlemfuensis* 11

Cynodon nlemfuensis e 12

2.4.2 Utilización de pastos en la disminución de la contaminación.....12

III. Objetivos 15

3.1 Objetivo general 15

3.2 Objetivos específicos 15

IV. Material y métodos 16

4.1. Obtención de *Panicum maximum Jacq* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst.*...16

4.2. Caracterización de *Panicum maximum Jacq* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst.* 16

4.3. Deshidratación de las muestras 17

4.4. Trituración y tamizado de muestra 17

4.5 Microscopia electrónica de barrido.....18

4.6. Caracterización de hidrocarburo 19

4.7. Evaluación de los pasto en contacto directo con el hidrocarburo 19

4.8. Tiempo óptimo de contacto entre los pastos e hidrocarburo 22

4.9. Propiedades hidrofóbicas de los pastos.....22

4.10. Funcionalidad del material absorbente industrializado 25

4.11. Análisis estadístico.....25

V. Resultados 27

5.1 Caracterización de *Panicum maximum Jacq* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst* 27

5.2. Deshidratación de las muestras 27

5.3. Caracterización de hidrocarburo 28

5.4 Microscopia electrónica de barrido.....29

5.5 Evaluación de los pastos en contacto con el hidrocarburo 31

5.6. Tiempo óptimo de contacto entre material absorbente e hidrocarburo 32

5.7. Propiedades hidrofóbicas de los pastos.....35

5.8. Comparación de los dos pastos y el material industrializado. 38

5.8.1. Capacidad de absorción de hidrocarburo 38

5.8.2 Tiempo óptimo de absorción 39

5.8.3 Propiedades hidrofóbicas 40

VI. Discusión 43

VII. Conclusiones 47

VIII. Bibliografía 49

Anexo 1 61

Anexo 2 75

Índice de figuras

1.- Procedimiento para la evaluación del material absorbente en contacto con hidrocarburo…….……... 20

2.- Procedimiento para la evaluación de las propiedades hidrofóbicas.. …… 23

3.- Microscopia electrónica de barrido del pasto *C. nlemfuensis* con una humedad de 27.33%.…….…… 27

4.- Microscopia electrónica de barrido del pasto *P. maximum* con una humedad 25.69%.……. 28

5.- Capacidad de absorción de hidrocarburo en los pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis*……. ……. 30

6.- Correlación entre la capacidad de absorción de hidrocarburo y tiempo de contacto en los tres tamaños de partícula del pasto *P. maximum* ……..……. 31

7.- Correlación entre la capacidad de absorción de hidrocarburo y tiempo de contacto en los tres tamaños de partícula del pasto *C. nlemfuensis*…….. 32

8.- Capacidad de absorción de agua desionizada en los pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis*…….. ……. 34

9.- Capacidad de absorción de agua ionizada en los pastos *P. maximum* y *C.* 35

nlemfuensis……..……..…….

10.- Comparación de la capacidad de absorción de hidrocarburo en tres materiales absorbentes …….…….….. 36

11.- Correlación entre la capacidad de absorción de hidrocarburo y tiempo de contacto del material insutrializado ……..……...…… 37

12.- Comparación de la capacidad de absorción de agua desionizada en los tres materiales absorbente …….……..…… 38

13.- Comparación de la capacidad de absorción de agua ionizada en tres materiales absorbente ……..…… 39

Resumen

Los absorbentes orgánicos han adquirido relevancia en los derrames de hidrocarburo porque favorecen la recuperación de los ecosistemas. El propósito de este trabajo fue determinar la funcionalidad de *Panicum máximum Jacq* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst* en la recuperación de hidrocarburo derramado también se realizó una comparación con un absorbente industrializado. Para la evaluación de los absorbente se utilizó la norma ASTM F 726-99 la cual indicó las condiciones ideales para evaluar un absorbente, también se analizó la capacidad de absorción de hidrocarburo en 1.68, 0.84 y 0.59 mm, además, se estudió el tiempo de saturación a 0.5, 1, 2, 5, 10 ,30 y 60 min. y las propiedades hidrofóbicas. De acuerdo a los ensayos se encontró que el material industrializado absorbe 1.96 g de hidrocarburo/g de absorbente, no presenta propiedades hidrofóbicas y no se encontró correlación entre tiempo-capacidad de absorción, el material se saturó a los 60 min. En contraste, *P. maximum* presentó mayor eficiencia con un tamaño de 1.68 mm, absorbió en promedio 9.04 g de hidrocarburo/g de absorbente, la correlación entre el tiempo-capacidad de absorción es fuerte, a los 60 min. se satura y finalmente *C. nlemfuensis* con un tamaño de 1.68 mm absorbe 7.82 g de hidrocarburo/g de absorbente, la correlación tiempo- capacidad de absorción es negativa moderada y se satura a los 2 min., en ambos pastos no hay presencia de hidrofobicidad por la poca presencia de fibra, a pesar de ello puede ser utilizado en los derrames en suelo, en la limpieza de herramienta o superficies contaminadas, pero no se podrá utilizar en derrames acuosos. El uso de los

pastos en edades tempranas reduce el rebrote del mismo, es por ello que es una alternativa de control de la especie, además es económica su conversión en absorbentes, también son biodegradables y no requieren activación física o química.

I. Introducción

Los derrames de hidrocarburo se han convertido un problema de interés global, por la contaminación de agua y suelo que provocan. Para minimizar las consecuencias de los derrames de hidrocarburo se utiliza la biorremediación, fitoremediación o materiales absorbentes sintéticos (polipropileno y poliuretano). Sin embargo, los dos primeros tardan mucho tiempo en poderse llevar acabo y económicamente hablando son costosos, al utilizar materiales sintéticos, estos no se degradan lo que provoca contaminación por acumulación (Rincones *et al.*, 2015), por las desventajas antes mencionadas, se ha incrementado el uso de materiales absorbentes de origen orgánico en la contención y recuperación de hidrocarburo derramado, los más utilizado son: bagazo de caña, plumas de aves, cáscara de coco, cáscara de arroz, entre otros. Los materiales absorbente orgánicos son útiles debido a su composición física, la porosidad, biodegradabilidad y alta retención de hidrocarburo (Vlaev *et al*., 2011; Díaz *et al*., 2013; López, 2013).

En el caso particular de los pastos (*Panicum maximum Jacq y Cynodon nlemfuensis Vanderyst*) se encuentran ampliamente distribuidos en diferentes estados de la república mexicana como lo son: Chiapas, Colima, Oaxaca, Yucatán, Veracruz, entre otros (Alan y Martínez, 2010; DOF, 2014; Osuna *et al*., 2015; Ortega *et al*., 2015). En México los pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis*,

son considerados especies exóticas invasoras y provocan alteraciones por sus presencia en los ecosistemas como: cambios físicos y químicos de los habitas, compiten por los recursos naturales, desplazan especies nativas, son resistentes a los cambios climáticos, producen gran cantidad de semillas (*P. maximum*) y tienen fácil dispersión (Capdevila *et al*., 2013; López, 2013; Badii *et al*., 2015), por lo que han sido utilizados para la fitoremediación de agua domestica (Martínez, 2013) y también en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburo (Palta y Morales, 2013).

El incremento en los problemas de contaminación causados por hidrocarburos derramados y las afectaciones que provocan las especies exóticas invasoras, impulsan esta investigación, ya que tiene como objetivo utilizar los pastos *P. maximum y C. nlemfuensis* para determinar la funcionalidad de las dos especies en la recuperación de hidrocarburo derramado, y así generar nuevos conocimientos sobre otras alternativas útiles la contención de derrames, además de ser una medida para disminuir la propagación de los pastos y lograr la recuperación natural del sitio contaminado, lo que no se lograría con otros métodos para el mismo fin que tardan más tiempo en llevarse a cabo (fitoremediación y biorremediación).

II. Antecedentes

2.1 Importancia de los hidrocarburos

Los hidrocarburos son la fuente de energía más importante, a nivel mundial representan el 40% de la demanda energética, de ellos depende cada una de las actividades que se realizan en la vida contemporánea, también el desarrollo tecnológico, social y económico dependen de esta fuente de energía. El consumo de hidrocarburo medido a nivel mundial entre 2007 y 2008 fue de 74.9 millones de barriles por día (Mb/d), sin embargo, para 2020 se pronosticó un consumo de 118.9 Mb/d (Ortuño, 2009).

En México se registró en 2014 una producción de hidrocarburo de 2,429 mil barriles diarios. Actualmente el hidrocarburo es parte fundamental de la economía del país, por lo tanto, el gobierno federal de México está invirtiendo (un estimado de 356,768 millones de pesos) en proyectos de perforación para alcanzar las reservas de hidrocarburos, la inversión también está dirigida al mantenimiento de instalaciones existentes y nueva infraestructura para la producción, almacenamiento y el transporte de hidrocarburo (DOF, 2013; SEMARNAT, 2013; SENER, 2014; PEMEX, 2016).

2.2 Derrames de hidrocarburos y sus consecuencias

Los derrames de hidrocarburos son la liberación intencional o accidental del mismo sobre un área, como lo es una superficie (piso o suelo) o un cuerpo de agua superficial o subterráneo (Danglad *et al*., 2013). Algunas actividades antrópicas que contribuyen a un derrame son: la exploración, producción, transporte, almacenamiento de hidrocarburo, mantenimiento o falta del mismo y por vandalismo (PEMEX, 2016), provocando diversos efectos sobre el área que se contamina con la presencia de hidrocarburo. Algunos efectos ambientales de los derrames de hidrocarburo son: pérdida de nutrientes en el suelo, afectaciones en las cadenas tróficas, la muerte de plantas, mamíferos, insectos, aves (Díaz *et al*., 2013) y peces, incluso dependiendo de la acumulación de los elementos derramados las especies de consumo pueden resultar tóxicas para el ser humano (Dave *et al*., 2011). También existen pérdidas económicas por las afectaciones a la pesca, agricultura, ganadería, entre otros sectores. Dentro de los efectos a la salud están irritación al tracto respiratorio, dolor de cabeza e irritación en la piel y ojos, dependiendo de la cercanía y el tiempo de exposición con la sustancia derramada e incluso intoxicación por ingesta (PEMEX, 2000).

2.3 Técnicas de recolección y contención de derrames

Una forma de minimizar los efectos de los derrames de hidrocarburo sobre los ecosistemas es la aplicación de estrategias de contención del derrame y la

recuperación del material derramado, con la finalidad de disminuir las consecuencias ecológicas, económicas y sociales de la liberación de hidrocarburo, cualquier estrategia que se elija se debe aplicar lo más pronto posible al derrame (Contreras y Mórelo, 2009).

Los materiales absorbentes más utilizados en la limpieza de derrames de hidrocarburo son los inorgánicos y los orgánicos (Cojacaru *et al*., 2011), sin embargo, los absorbentes de origen inorgánico tienen algunos inconvenientes ya que solo se pueden utilizarse una vez, no son biodegradables, el destino final del material es incierto y en algunos casos causan contaminación por el transporte y almacenamiento del mismo. Por otro lado, los materiales absorbentes de origen orgánico han tomado mayor popularidad debido que se encuentran en abundancia, son de bajo costo, biodegradables y algunos presentan una alta capacidad de absorción de hidrocarburo comparables con absorbentes inorgánicos con una alta eficiencia (Vlaev *et al*., 2011). Por lo anterior ha surgido un interés por proporcionar alternativas de materiales absorbentes, para ser aplicados en los derrames de hidrocarburo con menor costo y mayores beneficios (Díaz *et al*., 2013).

Los materiales más utilizados en la absorción de hidrocarburo son: aserrín, cáscara de coco, plumas de aves, pelo, bagazo de caña, cáscara de arroz, entre

otros. Algunos de estos materiales requieren tratamientos químicos o térmicos para activar o maximizar sus propiedades absorbentes como es el caso del bagazo de caña, es uno de los materiales más estudiados por la comunidad científica ya que presentan una composición y características (materia seca, proteína cruda, fibra, celulosa, hemicelulosa, lignina y carbohidratos) favorables para ser utilizados en la recolección de hidrocarburo (Aguirre *et al*., 2010; López, 2013). Para mejorar las características del bagazo de caña y ser utilizado como absorbente de hidrocarburo se le han aplicado tratamientos como recubrirlo con surfactante no iónico (Rincones *et al*., 2015), anhídrido acético y n-bromosuccinimida (Sarkheil *et al*., 2014), recubrimientos con parafinas (Danglad *et al*., 2013), algunos otros autores aparte de la activación química también realizan un tratamiento térmico (Ortiz *et al*., 2006; Danglad *et al*., 2013; Sarkheil *et al*., 2014).

Existen otras alternativas de absorbentes de hidrocarburo que no requieren gran manipulación y que por sus características similares a las del bagazo de caña pueden ser utilizados en la contención y recolección de hidrocarburo, pero han sido poco estudiadas, como es el caso de los pastos de la familia Poaceae, que se encuentran ampliamente distribuidas en gran parte del planeta (Martínez, 2013).

2.3.1 Método de evaluación de un material absorbente de hidrocarburo

Un material de origen orgánico o inorgánico para ser utilizado en la contención o recuperación de hidrocarburo debe ser evaluado utilizando metodología previamente reconocida a nivel internacional o que se encuentre en artículos científicos. Es por ello que de acuerdo al análisis bibliográfico realizado se utilizó la norma ASTM F 726-99: Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents (Lezama *et al*., 2012; Salazar, 2012; Méndez *et al*., 2012; López, 2013; Sarkheil *et al*., 2014; Martínez *et al*., 2015). Por otro lado, para determinar la hidrofobicidad en el material evaluado se deben realizar ensayos bajo condiciones dinámicas en agua desionizada y en agua ionizada (Vinent *et al*., 2011; Salazar, 2012; Méndez *et al*., 2012; López, 2013; Danglad *et al*., 2013). También se debe evaluar el tiempo óptimo de contacto entre el material absorbente y el hidrocarburo para determinar el tiempo al que se alcanza la saturación máxima (Salazar, 2012; Méndez *et al*., 2012). Las metodologías antes mencionadas serán relevantes en la determinación de la eficiencia de un material absorbente de hidrocarburo.

Dentro de las recomendaciones de algunos autores, mencionan que hay que tomar en cuenta el tamaño de partícula al evaluar el material absorbente propuesto, ya que teóricamente la partícula más pequeña es la que absorbe más hidrocarburo por el aumento de área superficial del poro (Annunciado *et al*., 2005; Ibrahim *et al.*, 2010; Salazar, 2012; Danglad *et al*., 2013; Singh *et al*., 2013;

Montoya *et al*., 2014; Sarkheil *et al*., 2014; Reátegui *et al*., 2014; Brown *et al*.,2015).

2.4 Pastos exóticos invasores

Las especies exóticas invasoras son todas aquellas plantas o animales introducidos por el hombre a un área fuera de su distribución natural y que han conseguido establecerse o dispersarse en la nueva región. La introducción de estas especies provoca múltiples afectaciones como: alteraciones físicas en la flora y fauna, compiten por los recursos con las especies nativas, desplazan, depredan e incluso pueden llegar a cruzarse con las especies nativas, alteran el ecosistema ya que afectan las estructura y composición de las comunidades bióticas, también las especies exóticas son consideradas responsables de elevadísimos números de extinciones de especies nativas (Mejía y Luna, 2010; Capdevila *et al*., 2013; López, 2013; Badii *et al*., 2015), actualmente se les considera la segunda amenaza para la biodiversidad después de las actividades antrópicas (Badii *et al*., 2015).

Dentro de las especies exótica invasoras que se localizan en México se encuentran dos pastos, el primero llamado comúnmente como pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis Vanderyst*), que se encuentra ampliamente distribuido en Chiapas, Colima, CDMX, Jalisco, Oaxaca, Yucatán y Veracruz, por otro lado el

pasto tanzania (*Panicum maximum Jacq*) el cual tiene registros de presencia en los estados de Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luís Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Nieto *et al.*, 2015; CONABIO, 2016).

Los pastos son utilizados como alimento de ganado, ornato y para remediar la erosión. El éxito de la distribución de los pastos radica en la alta capacidad de producir semillas y su fácil dispersión, tienen un ritmo de crecimiento muy acelerado y toleran muy bien las variaciones climáticas (González *et al.*, 2014; Badii *et al*., 2015; Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, 2010), esto las llevo a ocupar el 25 % del territorio total mundial (Navarro *et al*., 2012).

2.4.1 Caracteristicas y composición de *P. maximum* y *C. nlemfuensis*

Panicum maximum es un pasto perenne y amacollado, puede alcanzar una altura promedio de 1.5 metros tiene un crecimiento rápido. El suelo en el que crece debe tener encharcamiento, no tolera sequias prolongadas, se adapta hasta 2,500 m.s.n.m., se distribuye en climas tropicales con temperaturas de 25 a 32ºC, con precipitaciones a partir de los 800 mm anuales y es tolerante la quema, pero no tolera heladas (Juárez y Bolaños, 2007; Rangel, 2012; Reyes *et al*., 2013; Ávila *et al*., 2014; Unidad Ganadera Regional de Jalisco, 2015).

Cynodon nlemfuensis es un pasto perenne de vida larga, frondosa y rastrero, realiza su crecimiento por medio de estolones, es un pasto que crece en regiones tropicales y subtropicales con temperaturas que oscilan entre 20 a 27ºC, resistente al calor, la sequía y los suelos ácidos o salinos. Crece desde el nivel del mar hasta 2,300 m y en áreas con precipitaciones de 900 a 2,200 mm y tiene un escaso desarrollo en condiciones de sombra (Juárez y Bolaños, 2007; Villalobos y Arce, 2013; Ávila et al., 2014; Unidad Ganadera Regional de Jalisco, 2015).

En su interior por lo general los pastos están formados por carbohidratos como la fibra (lignina, celulosa y la hemicelulosa) y la proteína que forman las paredes celulares de las plantas. Los niveles de carbohidratos varían con respecto a la parte del pasto que se esté analizando (hoja, tallo e inflorescencia), por ejemplo, en el tallo se encuentra la mayor cantidad de celulosa y hemicelulosa. Por otro lado, también se encuentra en los pastos la lignina que aporta rigidez al esclerénquima y xilema, importante para el crecimiento y desarrollo de la planta (Pozo, 2002; Bach y Casalmigia, 2006; Rangel, 2012; Fernández, 2015).

2.4.2 Utilización de pastos en la disminución de la contaminación

En investigaciones anteriores han utilizado pastos de la familia Poaceae para la remediación de suelo y cuerpos de agua contaminados con hidrocarburo. Por

ejemplo, Hernández y Mager (2003) realizaron una fitoremediación de suelo contaminado con hidrocarburo utilizando *Panicum maximum Jacq* y *Brachiaria brizantha*, para esta investigación una de las variables analizadas fue el tiempo y el porcentaje de descontaminación de suelo, obtuvieron resultados favorables después de 240 días con una disminución 63% grasas y aceites en el tratamiento con pasto *P. maximum* y 55 % *B. brizantha*, en comparación con el que no tenía vegetación sembrada. Otro estudio fue una fitoremediación realizada por Sangabriel y colaboradores (2006) en donde realizaron un estudio de invernadero para evaluar la tolerancia y el crecimiento de leguminosas y gramíneas entre ellas el pasto *P. maximum*, obteniendo una degradación mayor de hidrocarburo en el pasto en comparación con los otros tratamientos.

Palta y Morales (2013) evaluaron diferentes pastos de la familia de la Poaceae (*Vaciaría mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum Jacq*) para utilizarlas en el manejo de las aguas residuales domésticas mediante la siembra en humedales, ellos encontraron una disminución de coliformes totales para *B. mutica* 74.36%, *P. purpureum* con 74.35% y *P. maximun* con 72. 27 %. Igualmente, Regalado y colaboradores (2014) realizaron un trabajo sobre las afectaciones de *C. nlemfuensis* al ser utilizada en la absorción de metales pesados en suelo, en el que descubrieron que no existe toxicidad en la planta y que transporta los metales pesados desde la raíz hacia las partes aéreas en donde las acumula.

Además, en Quito Ecuador se realizó una investigación dirigida por Martínez (2013), en la cual utiliza el pasto P*ennisetum clandestinum* como absorbente para la remediación de agua contaminada con petróleo, para lo cual, previo a la utilización del pasto realizó un análisis de contenido de humedad y fibra presentes ya que el autor considera que estas variables eran determinantes para la obtención de buenos resultados. A partir del contacto directo entre el agua contaminada y el pasto obtuvo una limpieza del 95% del agua, midiendo DBO y DQO como indicadores de eficiencia del tratamiento.

Es importante contar con alternativas eficientes para la disminución de los efectos causados por la contaminación de hidrocarburo, así como, las afectaciones ecológicas de los pastos exóticos invasores, lo anterior impulsa esta investigación para generar conocimiento sobre nuevas alternativas para la recuperación de hidrocarburo derramado utilizando los pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis* que son consideras una amenaza para nuestro país.

III. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar la funcionalidad de los dos pastos *Panicum máximum Jacq* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst* en la recuperación de hidrocarburo derramado, realizando una comparación con un absorbente orgánico industrializado.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad de absorción de las dos especies de pastos.

- Establecer el tiempo óptimo de saturación de hidrocarburo en el pasto.

- Estudiar el comportamiento hidrofóbico del pasto en condiciones acuosas.

- Comparar la eficiencia de absorción de hidrocarburo de los pastos con respecto al material industrializado.

IV. Material y métodos

4.1. Obtención de *Panicum maximum Jacq* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst.*

Proceso de obtención de los pastos se realizó de la siguiente manera: se efectuó un recorrido previo por la colonia Yanga de la ciudad de Poza Rica de Hidalgo Veracruz para ubicar las zonas en donde se encontraba las especies de pasto, una vez ubicados los terrenos de los cuales se obtendría el pasto se inició la recolecta a las 6 a.m. y finalizo a las 8 a.m., se recogió la cantidad de 2 kg de cada pasto (*P. maximum* y *C. nlemfuensis*) colocándolo en bolsas de papel para su resguardo.

4.2. Caracterización de *Panicum maximum Jacq* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst.*

La muestra para el análisis bromatológico se recolecto a las 6 a.m. se realizó cortando desde el codo más cercano a la raíz hasta el codo más cercano a la inflorescencia, para el pasto *P. maximum* se recolecto con una altura de 1.5 m y para *C. nlemfuensis* se consideró una altura de 30 cm, para el análisis bromatológico fue necesario colocar 500 gr en una bolsa de papel y posteriormente se cerró la bolsa para evitar contaminación de las muestras, finalmente en cada bolsa se colocó un rotulo con el nombre científico de la especie y la altura de corte.

Se ejecutó la caracterización física de los pastos en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Campus Tuxpan, mediante la técnica de análisis químico proximal. El estudio contempló la determinación la materia seca y la humedad de los pastos, la proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, elementos libres de nitrógeno, porcentaje total de nutrientes digestibles, energía digestible y energía metabolizable, en base humedad, base seca 90% y base seca al 100%. El proceso de análisis se encuentra descrito de forma detallada en el anexo 1.

4.3. Deshidratación de las muestras

La desecación de los pastos se realizó mediante exposición directa al sol durante 6 días, en charolas de aluminio (40 y 80 cm), en donde el pasto se mantuvo extendido y diariamente se volteó de dos a tres veces, al finalizar cada día de exposición se colocó la muestra de pasto en la báscula para medir la masa, el dato que se obtuvo al pesar se registró en bitácora, después de esto se volvieron a guardar la muestras en una bolsa de papel para evitar la rehidratación (Blanco *et al*., 2003).

4.4. Trituración y tamizado de muestra

La trituración de los pastos se llevó acabó utilizando un molino manual de la marca Del Rey, posteriormente el material triturado se hizo pasar por un arreglo de 5 tamices (malla 10, 20, 30,40 y 60) colocados verticalmente. En el tamiz superior

(malla 10) se colocó el pasto triturado y mediante agitación mecánica se separaron los diferentes tamaños de partícula (1.68, 0.84, 0.59, 0.42 y 0.25 mm), por último, se guardaron en recipientes cerrados.

En esta investigación se determinó mediante un análisis exploratorio que los tamaños de partícula 0.42 mm y 0.25 mm no serían utilizados debido ya que son demasiado pequeños y no se contaba con una malla filtrante que los retuviera, lo que ocasionaría una cuantificación de la capacidad de absorción y propiedades hidrofóbicas inadecuada.

4.5 Microscopia electrónica de barrido

Las topografías superficiales de cada pasto se determinaron mediante la microscopia electrónica de barrido (SEM) con la finalidad de conocer la estructura interna y visualizar la existencia de espacios, así como los tamaños de dichos espacios en los que se introdujo el hidrocarburo. La microscopia se realizó en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM campus Juriquilla, Querétaro.

El pasto se observó al alto vacío, pegando las muestras deshidratadas a un porta-muestras con adhesivo de carbono, el microscopio utilizado es de la marca

HITACHI. Las muestras de pastos fueron observadas a 500, 400, 300, 200, 100, 50, 20, 10 y 5 micrómetros.

4.6. Caracterización de hidrocarburo

La determinación de los grados API se realizó mediante el método de prueba estándar indicado en la norma ASTM D 287-92, por lo que se utilizó un termo hidrómetro de vidrio en grados API (53 H) y por último una probeta de vidrio graduada de 250 mL. Antes de iniciar la prueba estándar se ajustó la temperatura de la muestra a 60 °F (15.5 °C), se colocó la muestra ajustada dentro de la probeta limpia, sin salpicar, con la finalidad de evitar la formación de burbujas de aire y reducir al mínimo la pérdida de los componentes volátiles. Antes de insertar el termo hidrómetro en la probeta se removió cualquier burbuja de aire. Se sumergió el termo hidrómetro lentamente dentro de la muestra y cuando este estuvo centrado se soltó. Finalmente se dejó el termo hidrómetro el tiempo suficiente dentro de la probeta hasta que se quedó completamente fijo, cuando esto ocurrió se leyó la escala (API) que marco el termo hidrómetro.

4.7. Evaluación del pasto en contacto directo con el hidrocarburo

Para la evaluación del material absorbente se utilizó una adaptación de la norma ASTM F726-99: Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents en su apartado Oil Adsorption short Test. Esta metodología no imita las condiciones

reales de un derrame de hidrocarburo, dado que las variables inmersas en un derrame son muchas y difíciles de controlar, por ello solo proporciona las condiciones ideales para evaluar un material absorbente, por lo que en esta experimentación se determinó la máxima capacidad de absorción del material absorbente (Salazar, 2012; López, 2013; Martínez *et al*., 2015).

La máxima capacidad de absorción de hidrocarburo se determinó mediante: la muestra de 1 g de *P. maximum* o de *C. nlemfuensis*, según fue el caso, se adicionó el pasto a un vaso de precipitado que contenía 50 g de hidrocarburo semipesado y se dejó en contacto directo durante 2 minuto. Al terminar el tiempo de contacto se sacó la muestra de pasto y se realizó un drenado de hidrocarburo durante 1 minuto con apoyo de una malla filtrante (colador). Una vez que transcurrió el tiempo de drenado la muestra de pasto impregnada con hidrocarburo, se extrajo de la malla filtrante para colocarla en una báscula analítica (LAB-500) y por último se tomó la masa del pasto impregnada con hidrocarburo. Cuando se obtuvo la masa del pasto impregnado se utilizó la fórmula 1 para determinar la capacidad de absorción del pasto. Se realizó 5 réplicas para cada pasto y para cada tamaño de partícula.

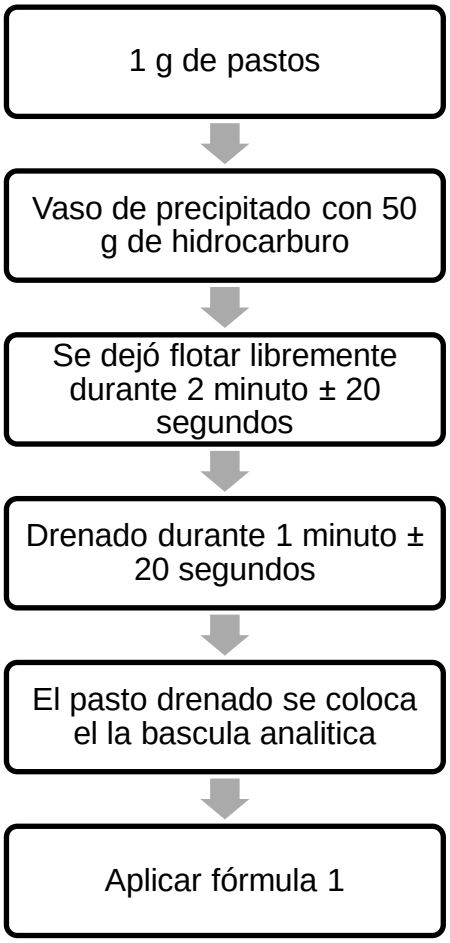

Figura 1. Procedimiento para la evaluación del material absorbente en contacto con hidrocarburo.

La fórmula 1 indica el cálculo de la capacidad de absorción:

$$C_{Ab} = \frac{m_t - m_0}{m_0} \quad (1)$$

Dónde:

C_{Ab} = Capacidad de absorción.

m_t = Masa del pasto impregnado con hidrocarburo

m_0 = Masa del pasto seco.

4.8. Tiempo óptimo de contacto entre los pastos e hidrocarburo

El tiempo recomendable de contacto entre *P. maximum* o de *C. nlemfuensis* y el hidrocarburo se realizó mediante el procedimiento de la sección 4.7, la única diferencia fue la variación en los tiempos de contacto entre pasto e hidrocarburo, se realizó en los siguientes tiempos: 0.5, 1, 5, 10, 30 y 60 minutos. Este procedimiento se replicó cinco veces en cada tiempo, para cada pasto y tamaño de partícula (1.68, 0.84 y 0.59 mm). Nuevamente se utilizó la fórmula 1 para el cálculo de las capacidades de absorción. Finalmente, para el análisis de datos se incluyeron los obtenidos en la sección 4.7 evaluados a un tiempo de 2 min.

4.9. Propiedades hidrofóbicas de los pastos

En la determinación de las propiedades hidrofóbicas se tomó como referencia la norma ASTM F 726-99. Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents en su apartado Dyname Degradation Test. Dicha prueba se realizó con el objetivo de determinar la propiedad hidrofóbica bajo condiciones dinámicas de los pastos *P. maximum* y de *C. nlemfuensis*.

La prueba de propiedades hidrófobas se realizó en dos fases: en la primera fase se utilizó agua desionizada o destilada, de la cual se añadió 1 L de agua desionizada a un vaso de precipitado de 2 L de capacidad, en el fondo del vaso de precipitado con ayuda de unas pinzas se introdujo un agitador magnético, posteriormente el vaso precipitado se colocó sobre una parrilla magnética a una velocidad de 100 ciclos/minuto, después se agregó 1 g *P. maximum* o de *C. nlemfuensis* respectivamente, durante un período de 15 minutos se mantuvo la agitación. Al terminar la agitación el contenido del vaso se dejó precipitar 2 minutos. Posteriormente el contenido del vaso de precipitado se filtró y se dejó drenar durante 1 minuto sobre una malla filtrante (colador). Al terminar de drenar se sacó la muestra de pasto de la malla filtrante y se le tomó la masa del pasto impregnado de agua desionizada. La capacidad de absorción de agua se calculó mediante la fórmula 1. Se realizaron cinco replicas para cada pasto y para cada tamaño de partícula (1.68, 0.84 y 0.59 mm).

La segunda parte de la prueba consistió en preparar una solución 1 M de NaCl mediante la adición de 58.5 g NaCl a un matraz de aforación de 1 L, el cual se agito hasta obtener una mezcla homogénea. El contenido del matraz de aforación se depositó en el vaso de precipitado de 2 L, en el fondo del vaso de precipitado se introdujo un agitador magnético con ayuda de unas pinzas, todo el contenido del vaso de precipitado de 2 L se colocó sobre una parrilla magnética a una velocidad de 100 ciclos/minuto y se agregó la cantidad de 1 g *P. maximum* o de *C.*

nlemfuensis respectivamente, durante un período de 15 minutos se mantuvo la agitación. Pasados los 15 minutos el contenido se dejó en reposo dentro del vaso durante 2 minutos. El contenido del vaso de precipitado se filtró y se dejó drenar durante 1 minuto sobre la malla filtrante. Transcurrido este tiempo de drenado, se sacó el pasto de la malla y se le tomo la masa del material impregnado de agua ionizada. La capacidad de absorción de agua se calculó mediante la fórmula 1. Se realizaron cinco replicas para cada pasto y para cada tamaño de partícula (1.68, 0.84 y 0.59 mm).

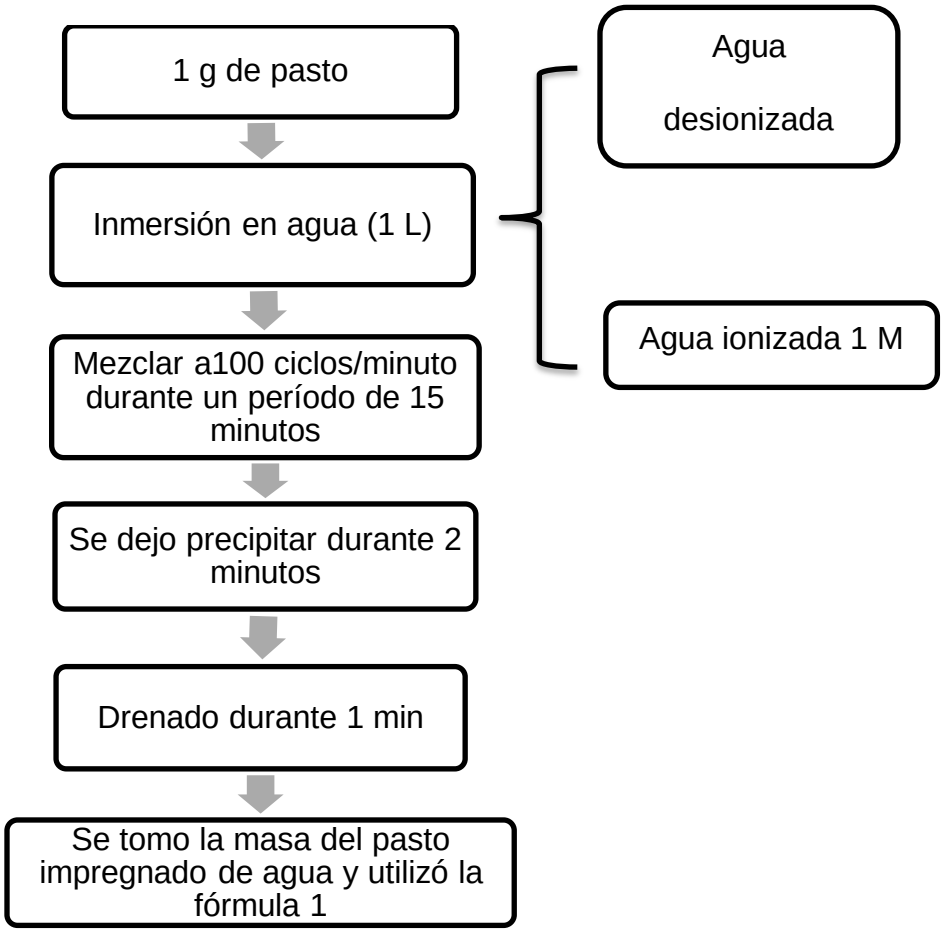

Figura 2. Procedimiento para la evaluación de las propiedades hidrófobas.

4.10. Funcionalidad del material absorbente industrializado

El material industrializado de esta investigación fue trozos de mazorca de maíz, adquiridos en la Proveedora Industrial Vallen, ha este material absorbente se le aplicaron pruebas de capacidad de absorción, tiempo óptimo de absorción y cualidades hidrófobas, así mismo se utilizó la norma ASTM F 726-99. Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents.

Una vez obtenidos los resultados del material industrializado se retomaron los datos obtenidos de los pastos y se aplicó un análisis estadístico para determinar si las especies *P. maximum* y *C. nlemfuensis* son mejores absorbentes que el material industrializado.

4.11. Análisis estadístico

Para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos obtenidos, primero se determinó si los valores logrados se ajustaban a una distribución normal, cuando fue positiva la distribución normal se realizó un análisis de varianza, para determinar si existe diferencia significativa entre la capacidad de absorción de hidrocarburo y el tamaño de partícula de cada pasto. Cuando los valores no se ajustaron una distribución normal se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis y la prueba de comparaciones (interacciones) múltiples de Tukey. Además de una correlación

en tiempo óptimo de contacto entre el material absorbente (pasto y mazorca de maíz) y el hidrocarburo. El programa estadístico utilizado fue R versión 3.1.2 del 2014.

A partir de esta sección para hacer más fácil el análisis de datos se utilizó la siguiente nomenclatura:

P. maximum con un tamaño de partícula de 1.68 mm= pm1

P. maximum con un tamaño de partícula de 0.84 mm= pm2

P. maximum con un tamaño de partícula de 0.59 mm= pm3

C. nlemfuensis con un tamaño de partícula de 1.68 mm= cn1

C. nlemfuensis con un tamaño de partícula de 0.84 mm= cn2

C. nlemfuensis con un tamaño de partícula de 0.59 mm= cn3

Mazorca de maíz= mm

V. Resultados

5.1 Caracterización de *Panicum maximum Jacq* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst*

Del análisis bromatológico se obtuvo en contenido de materia seca, proteína cruda, fibra cruda y extracto etéreo en base seca al 100% ya que son las condiciones en donde se encontró un porcentaje más elevado de estas características, como lo muestra el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición interna de los pastos.

Tipo de pasto	Base seca 100%		
	PC (%)	FC (%)	EE (%)
Panicum maximum Jacq	9.33	5.59	2.86
Cynodon nlemfuensis Vanderyst	12.00	11.30	8.57

PC: proteína cruda; FC: fibra cruda; EE: extracto etéreo

5.2. Deshidratación de las muestras

La pérdida de humedad en los pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis* fue del 50% en promedio los primeros tres días, los días restantes la pérdida humedad en

ambos pastos fue alrededor del 20%, finalmente el pasto *P. maximum* termino con una humedad promedio del 25% y el pasto *C. nlemfuensis* finalizo con una humedad de 27% en promedio. En el cuadro 2 se muestra la pérdida de humedad durante la exposición al sol.

Cuadro 2. Descenso de humedad por exposición al sol.

Días	Temperatura promedio ºC	% de humedad promedio (*P. maximum*)	% de humedad promedio (*C. nlemfuensis*)
1-3	28	59.67	48.3
4-6	24.6	14.64	24.37
Pérdida de humedad total		74.31	72.67

5.3. Caracterización de hidrocarburo

La prueba para la determinación de los grados API del hidrocarburo que se utilizó en este proyecto, demostró que se encuentra clasificado como hidrocarburo semipesado con 22.4 API.

5.4 Microscopia electrónica de barrido

En la figura 3 se observa la estructura interna del pasto *C. nlemfuensis*, en donde se visualizó una supervise rugosa (C), pliegues (B) e innumerables elementos conductores (pequeños capilares) (A y D) con un tamaño aproximado de 0.5 µm casi imperceptibles.

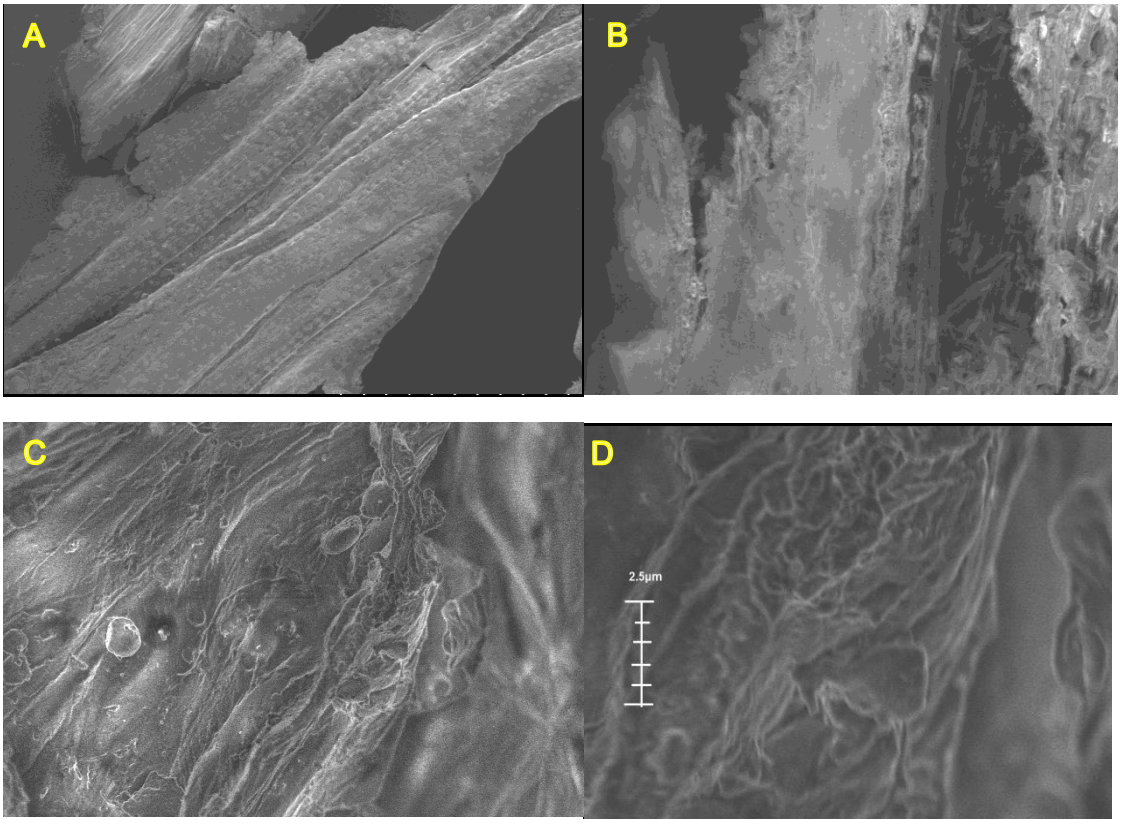

Figura 3. Microscopia electrónica de barrido del pasto *C. nlemfuensis* con una humedad de 27.33%. Las imágenes fueron tomadas a 500 (A), 200 (B), 20 (C) y 5 (D) micrómetros.

En la figura 4 se observa la estructura interna del pasto *P. maximum*, donde se localizaron capilares (A y B) con un tamaño aproximado de 180 µm, grietas pronunciadas (C) y rugosidades (D).

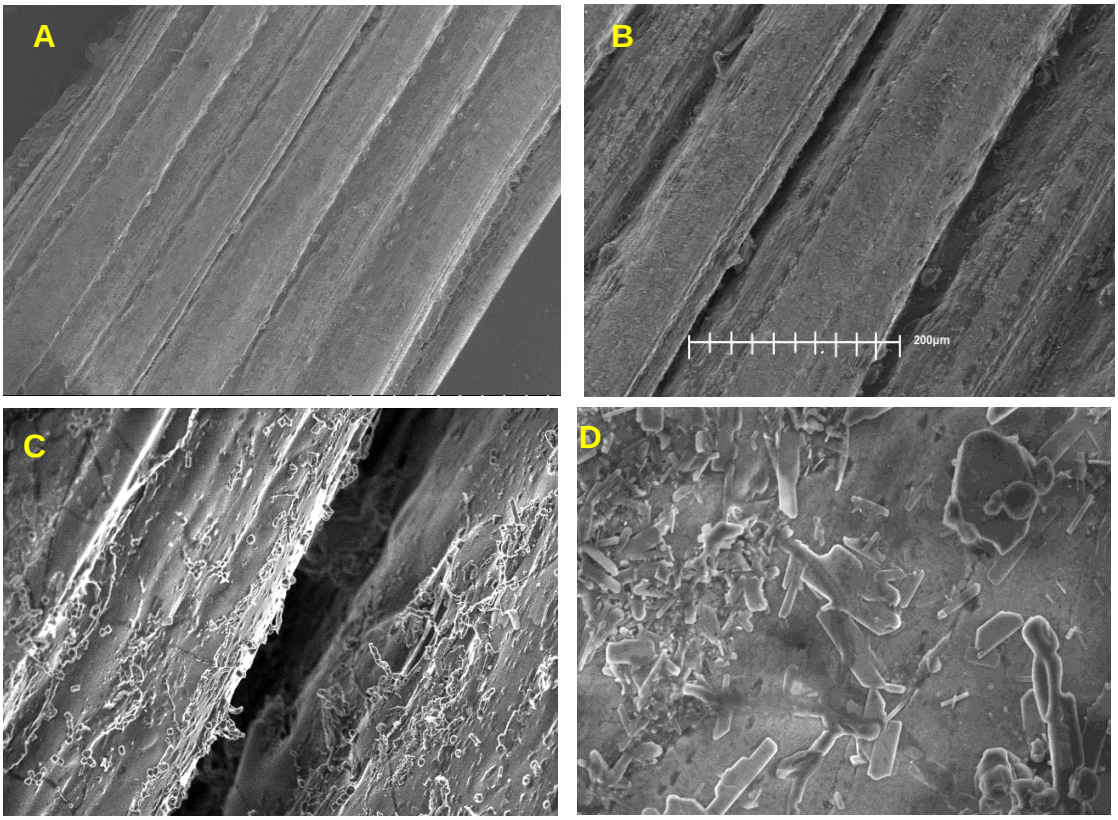

Figura 4. Microscopia electrónica de barrido del pasto *P. maximum* con una humedad 25.69%. Las imágenes fueron tomadas a 500 (A), 200 (B), 20 (C) y 5 (D) micrómetros.

5.5 Evaluación de los pastos en contacto con el hidrocarburo

En la evaluación del pasto *P. maximum* se encontró diferencia significativa ($\mathcal{X}^2$(2, *N*=15) =12.5673, *p*=.001867) en la capacidad de absorción, en donde se encontró mayor absorción de hidrocarburo en la partícula de 1.68 mm con una absorción promedio de 9.04 g hidrocarburo/ g absorbente, después el tamaño 0.84 mm absorbió 6.58 g hidrocarburo / g de absorbente y finalmente el tamaño 0.59 mm absorbió 5.58 g hidrocarburo / g absorbente, fig. 5.

Se encontró diferencia significativa (*F* (2,12) =52.474, *p*= 1.167 X 10^{-6}) entre la capacidad de absorción del pasto *C. nlemfuensis*, en donde, la mayor capacidad de absorción de hidrocarburo se localizó en la partícula de 1.68 mm con una retención promedio de 7.82 g hidrocarburo / g absorbente, después el tamaño 0.84 mm con una absorción de 6.58 g hidrocarburo / g absorbente y finalmente el tamaño de 0.59 mm absorbió 5.92 g hidrocarburo / g absorbente, fig. 5.

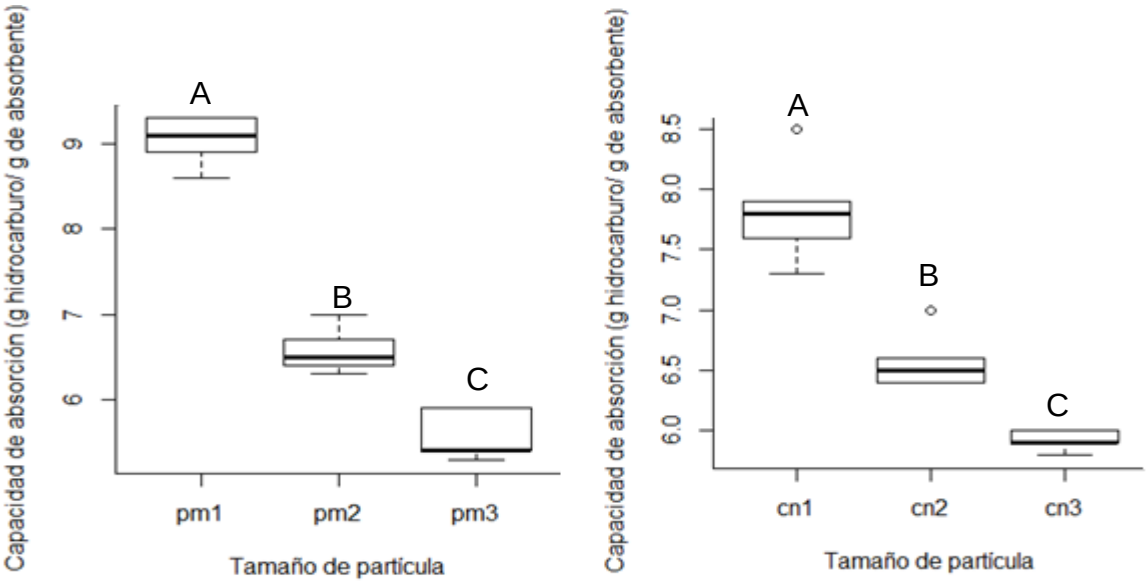

Figura 5. Capacidad de absorción de hidrocarburo en los pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis*. Las letras diferentes sobre las cajas indica diferencia significativa entre tamaño de partícula.

5.6. Tiempo óptimo de contacto entre material absorbente e hidrocarburo

En el pasto *P. maximum* se encontro una correlación lineal positiva fuerte entre la capacidad de absorción y el tiempo de contacto ($r(32)= 5.846 \times 10^{-6}$, $p<.05$), con un tamaño de párticula de 1.68 mm y una confiabilidad del 95%, en el tamaño de partícula de 0.84 mm se localizo una correlación lineal positiva debil entre la capacidad de absorción y el tiempo de contacto (r =.1521, $p>0.05$) y finalmente en el tamaño de partícula de 0.59 mm no se encontró correlación (r =.07235, $p>.05$) entre las variables, fig. 6.

Deacuerdo con el analisis de la figura 6 se localizo la maxima saturación de los tamaños de partícula 1.68, 0.84 y 0.59 mm del pastos *P. maximum* a los 60 minutos, momento en donde se obtuvo la máxima capacidad de absorción de hidrocarburo.

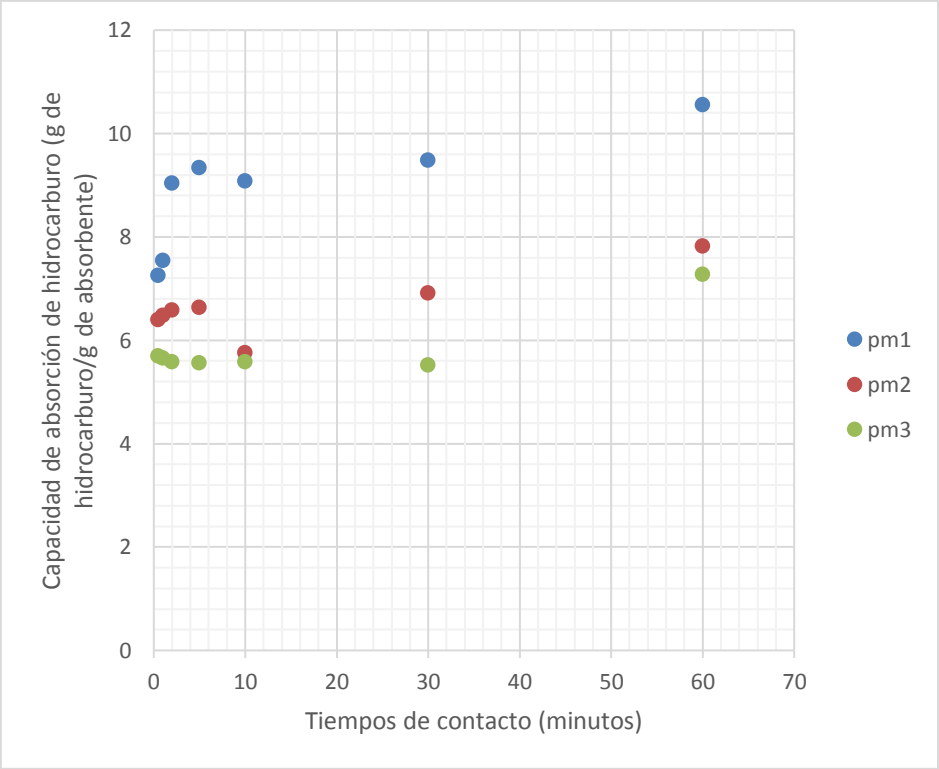

Figura 6. Capacidad de absorción de hidrocarburo conrespecto al tiempo de contacto en tres tamaños de partícula del pasto *P. maximum*.

En el pasto *C. nlemfuensis* se encontro una correlación lineal negativa moderada entre la capacidad de absorción y el tiempo de contacto ($r(33)= .01271$, $p<.05$) con un tamaño de párticula de 1.68 mm y una confiabilidad del 95%, en el tamaño de

partícula de 0.59 mm se localizo una correlación lineal positiva moderada entre la capacidad de absorción y el tiempo de contacto ($r(33)=.05935$, $p>.05$) y finalmente en el tamaño de partícula de 0.84 mm no se encontró correlación ($r(33)= .03459$, $p<.05$) entre las variables, fig. 7.

La saturación en los tamaños de partícula 1.68 y 0.84 mm del pastos *C. nlemfuesis* se alcanza a los 2 minutos, momento en donde se obtuvo la máxima capacidad de absorción de hidrocarburo, por otro lado, el tamaño de 0.59 mm obtuvo su máxima retención a los 30 minutos.

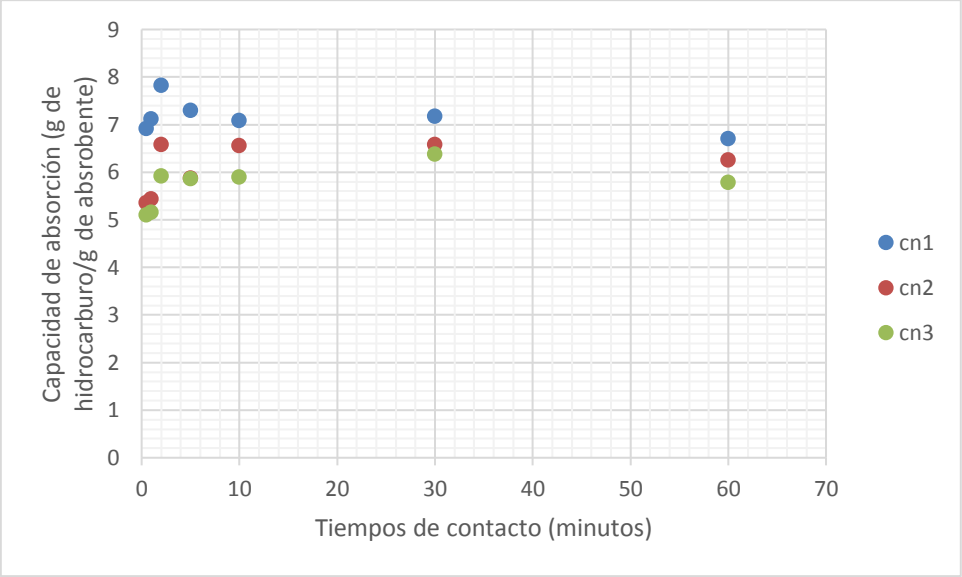

Figura 7. Capacidad de absorción de hidrocarburo conrespecto al tiempo de contacto en tres tamaños de partícula del pasto *C. nlmefuensis*.

5.7. Propiedades hidrofóbicas de los pastos

La absorción de agua desionizada del pasto *P. maximum* mostró diferencia significativa (F (2,12) = 63.167, p=4.261 x 10^{-7}) con respecto a cada tamaño de partícula. La mayor absorción de agua desionizada se observó en el tamaño de 1.68 mm que retuvo una absorción de 9.3 g agua desionizada / g absorbente, después le siguió el tamaño de 0.84 mm que absorbió 7.64 g agua desionizada / g absorbente y finalmente el tamaño de 0.59 mm absorbe menos agua con un promedio de 6.36 g agua desionizada / g absorbente, fig. 8.

Por otro lado, la absorción de agua ionizada en el pasto *C. nlemfuensis* mostró diferencia significativa ($\mathcal{X}^2$(2, N=15) =12.2989, p=.002135), con respecto a cada tamaño de partícula. El tamaño de partícula que más absorbió agua desionizada es 1.68 mm con una retención promedio de 8.22 g agua desionizada / g absorbente, después el tamaño 0.84 mm con una retención de 6.54 g agua desionizada / g absorbente y por último el que menos absorbe agua es el tamaño 0.59 mm con un promedio de 5.9 g agua desionizada / g absorbente, fig. 8.

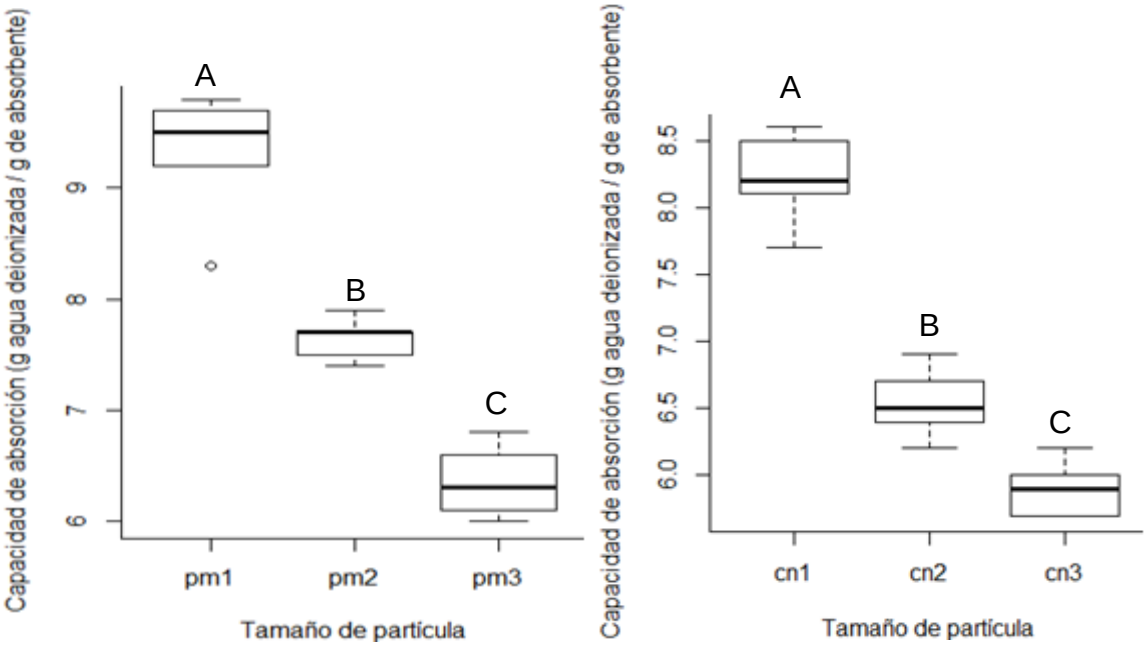

Figura 8. Absorción de agua desionizada en lo pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis*. Las letras diferentes sobre las cajas indica diferencia significativa entre tamaño de partícula.

En la absorción de agua ionizada (1 M) del pasto *P. maximum* indicó la existe diferencia significativa ($\mathcal{X}^2$(2, *N*=15) =12.6582, *p*=.001784) con respecto a cada tamaño de partícula. El tamaño de partícula de 1.68 mm fue el que absorbió la mayor cantidad de agua ionizada con una absorción promedio de 8.38 g agua ionizada / g absorbente, después el tamaño de 0.84 mm con una absorción de 6.5 g agua ionizada / g absorbente y por último la partícula de 0.59 mm fue la que absorbió menos agua ionizada con un promedio de 5.96 g agua ionizada / g absorbente, fig. 9.

Finalmente, la absorción de agua ionizada (1M) del pasto *C. nlemfuensis* en agua se encontró la existe de diferencia significativa ($\mathcal{X}^2$(2, *N*=15) =9.4475, *p*=.008882) con respecto a cada tamaño de partícula. El tamaño de partícula de 1.68 mm absorbió la mayor cantidad de agua ionizada, con una absorción promedio de 7.74 g agua ionizada / g absorbente, en los tamaños de partícula de 0.84 y 0.59 mm absorben en promedio la misma cantidad de agua ionizada de 5 g agua ionizada / g absorbente, fig. 9.

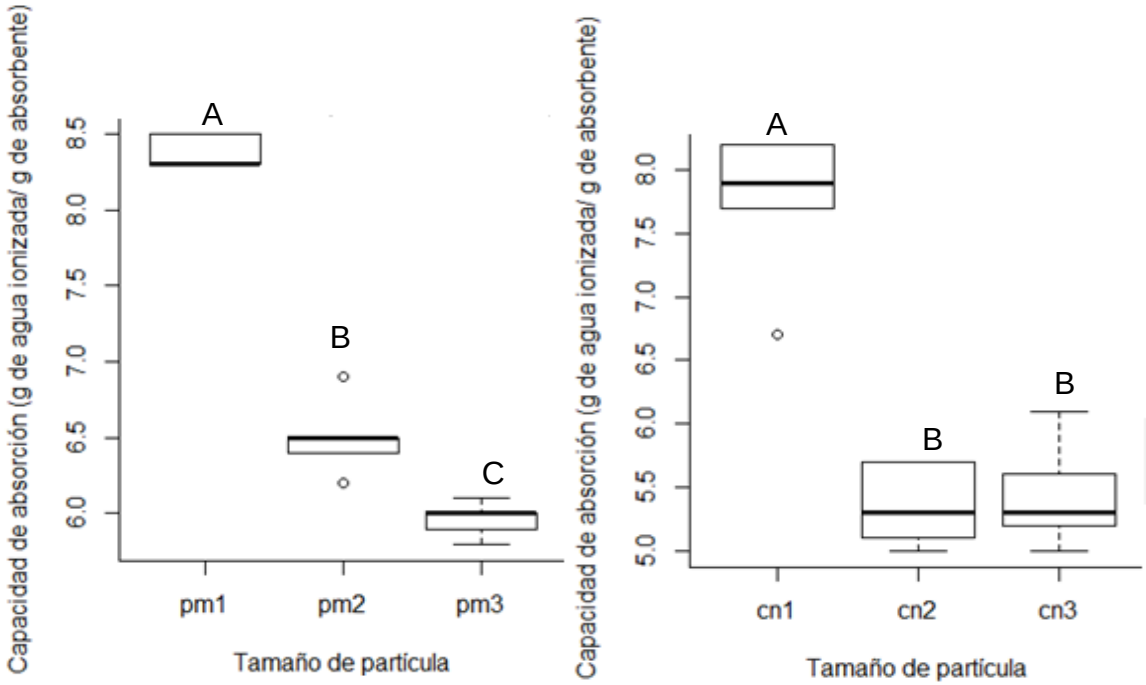

Figura 9. Absorción de agua ionizada en lo pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis*. Las letras diferentes sobre las cajas indica diferencia significativa entre tamaño de partícula.

5.8. Comparación de los dos pastos y el material industrializado.

5.8.1. Capacidad de absorción de hidrocarburo

Al comparar todos los materiales estudiados (pastos y mazorca de maíz) se encontró diferencia significativa ($\chi^2(6, N=245) = 191.2055$, $p = 2.2 \times 10^{-16}$) en la capacidad de absorción para todos los tratamientos. En donde, *P. maximum* con un tamaño de 1.68 mm presentó la máxima capacidad de absorción con respecto a todos los materiales evaluados, después le siguió el tamaño de 0.84 mm también del pasto *P. maximum* y el tamaño 1.68 mm del pasto *C. nlemfuensis* con la misma capacidad de absorción, posteriormente se encontraron los tamaños de 0.84 y 0.59 mm del pasto *C. nlemfuensis* y el tamaño 0.59 mm del pasto *P. maximum* con la una capacidad de absorción similar a los tamaños antes mencionados, finalmente la mazorca de maíz fue la que presento la mínima capacidad de absorción de hidrocarburo con respecto a todos los tamaños de partícula de los pastos evaluados, fig. 10.

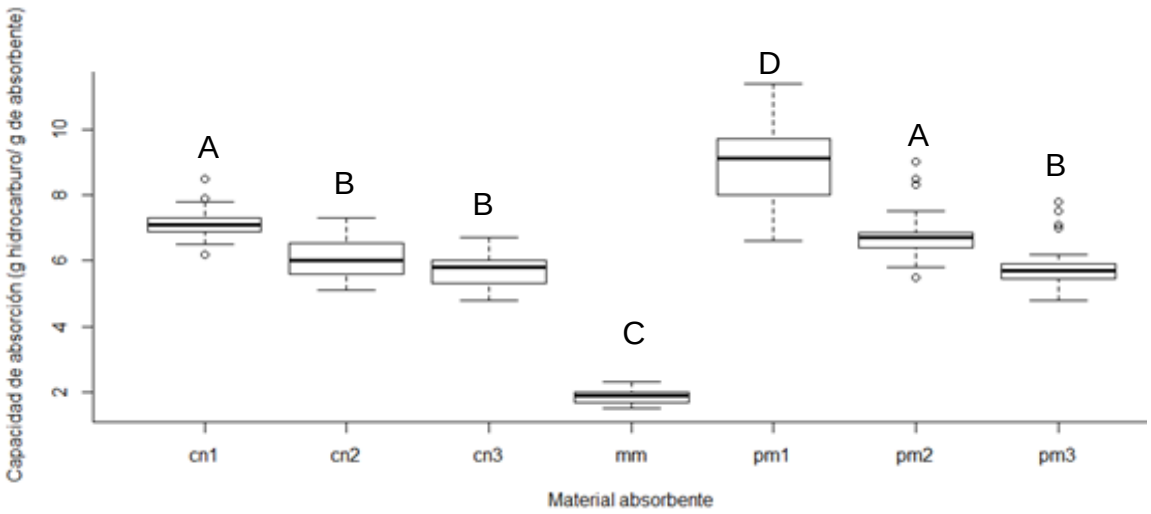

Figura 10. Comparación de la absorción de hidrocarburo en tres materiales absorbentes. Las letras diferentes sobre las cajas indica diferencia significativa en la capacidad de absorción entre los tamaños de partícula.

5.8.2 Tiempo óptimo de absorción

El tiempo de contacto con respecto a la capacidad de absorción de la mazorca de maíz no se presentó correlación ($r(33)=1.2551$, $p = .2183$), también se observa en la figura 11 la irregularidad con la que la mazorca de maíz absorbe hidrocarburo durante los tiempos en lo que se experimentó. Cabe señalar que la saturación de la mazorca de maíz se encontró hasta los 60 minutos.

Comparando los resultados obtenidos del capítulo 5.6 sobre el tiempo óptimo de contacto de los pastos contra los resultados del mismo estudio de la mazorca de

maíz se encontró que no existe relación entre la variable capacidad de absorción y tiempo de contacto en ninguno de los tres materiales evaluados.

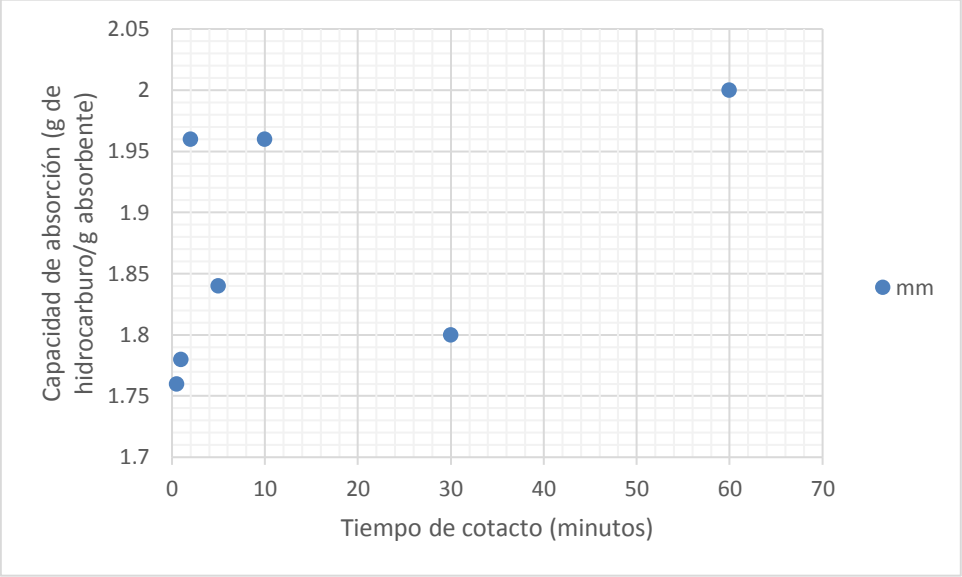

Figura 11. Capacidad de absorción de hidrocarburo con respecto al tiempo de contacto del material industrializado.

5.8.3 Propiedades hidrofóbicas

La absorción de agua desionizada de los materiales estudiados (pastos y mazorca de maíz), mostró diferencia significativa ($F(6, 28)= 98.757$, $p= 2.2 \times 10^{-16}$) con respecto a cada material estudiado, en donde *P. maximum* con un tamaño de partícula de 1.68 mm es el que más retiene agua desionizada en su interior, después le siguen *C. nlemfuensis* con un tamaño de 1.68 mm y *P. maximum* con un tamaño de 0.84 mm, ambos absorben en promedio la misma cantidad de agua,

posteriormente *C. nlemfuensis* con un tamaño 0.84, 0.59 mm y *P. maximum* 0.59 mm, estos tres tiene en promedio una absorción de agua similar, finalmente el que menos absorbe agua desionizada es la mazorca de maíz, fig. 12.

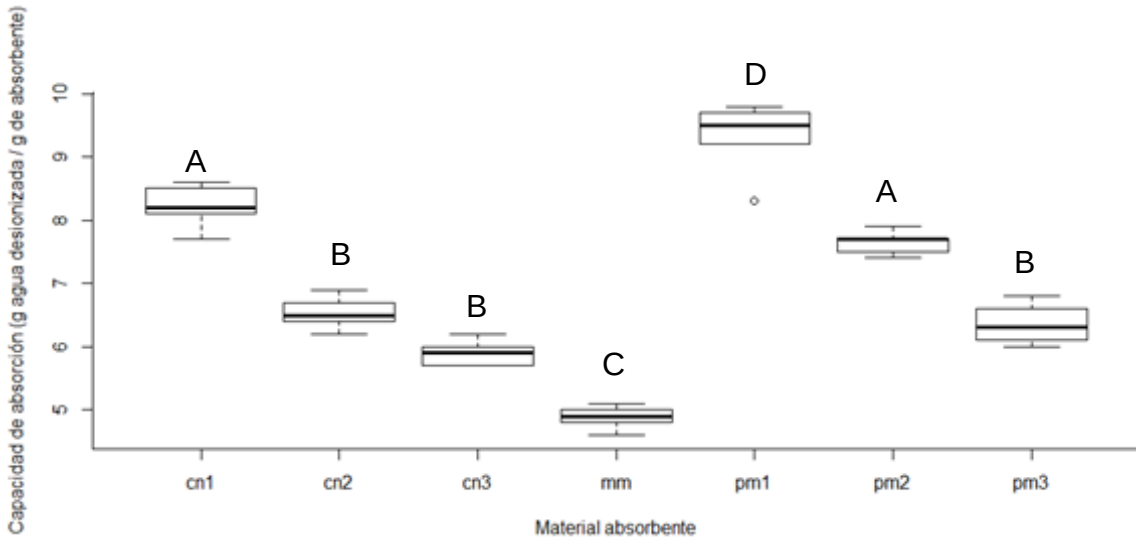

Figura 12. Absorción de agua desionizada en tres materiales absorbente. Las letras diferentes sobre las cajas indican diferencia significativa en la absorción de los tamaños de partícula.

Se encontró diferencia significativa ($\mathcal{X}^2$(6, *N*=35) = 32.149, *p*= 1.528 x 10^{-05}) en la absorción de agua ionizada (1M) de los materiales absorbentes evaluados, en donde *C. nlemfuensis* y *P. maximum* con un tamaño de 1.68 mm retiene en promedio la misma cantidad de agua ionizada, seguido de *P. maximum* con un tamaño de 0.84 mm y finalmente los que retienen menos agua son *C. nlemfuensis*

con un tamaño de 0.84, 0.59 mm, *P. maximum* de 0.59 mm y la mazorca de maíz, fig. 13.

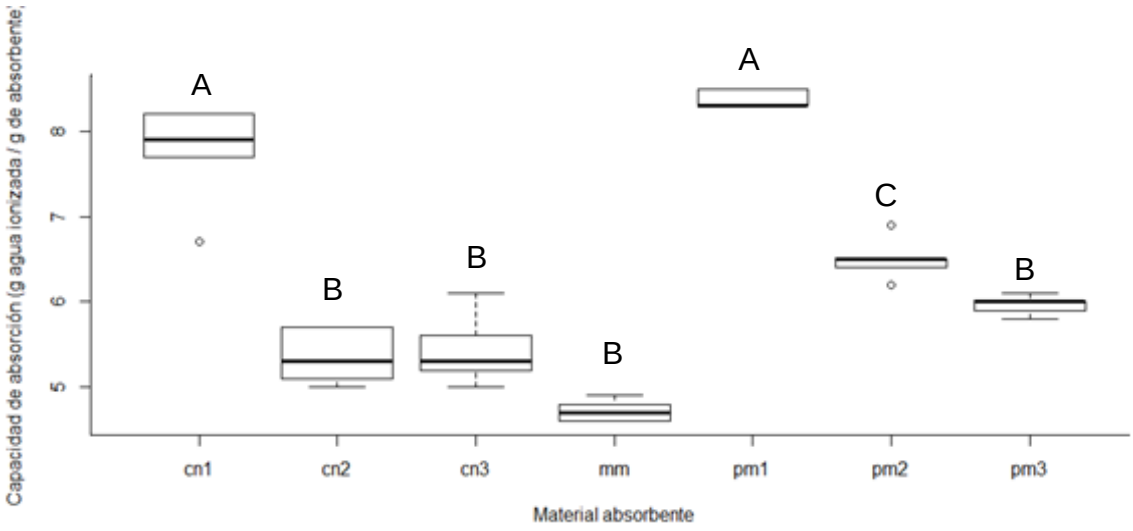

Figura 13. Absorción de agua ionizada (1M) en tres materiales absorbente. Las letras diferentes sobre las cajas indican diferencia significativa en la absorción de los tamaños de partícula.

VI. Discusión

La funcionalidad de un material absorbente granulado está determinada por la absorción de al menos el 50% de su peso, además de la eficiencia al captar hidrocarburo en el menor tiempo posible y finalmente el material absorbente no debe retener más del 10% de agua en su interior para ser considero un material hidrófobo (ASTM F-726, 1999).

La absorción de hidrocarburo del pasto *P. maximum* con un tamaño de partícula de 1.68 mm retiene un aproximado del 900% de su peso, después le sigue el tamaño 0.84 mm con una absorción del 700% de su peso y finalmente el tamaño de 0.59 mm alcanza una absorción del 600% de su peso, así mismo el pasto *C. nlemfuensis* con un tamaño de partícula de 1.68 mm retiene en su interior el 800% de su peso, a continuación le sigue el tamaño 0.84 del mismo pasto que absorbe el 700% de su peso y el tamaño 0.59 mm captura el 600% de su peso. Se puede observar la eficientes en la absorción de hidrocarburo, principalmente con un tamaño de partícula grande (1.68 mm) en ambos pastos. Los resultados alcanzados difieren con lo indicado por Behoon y colaboradores (2013) en materiales similares (bagazo de caña modificada) donde la partícula más pequeña (menor de 1 mm) es la que alcanza la mayor absorción de hidrocarburo (Annunciado *et al*., 2005; Ibrahim *et al.*, 2010; Singh *et al*., 2013; Sarkaheil *et al*., 2014: Reátegui *et al*., 2014). Esta diferencia es causada por la estructura interna

en forma de capilar constituida por fibra que le da dicha forma, los resultados anteriores son apoyados por Ortiz y colaboradores (2006) en donde evalúa el bagazo de caña deshidratado y particulado en donde obtuvieron mayor absorción en la particular más grande provocado por los conductos capilares presentes (Martínez *et al*., 2013: Wahi *et al*., 2013). Al cortar el pasto en segmentos más pequeño se disminuyó el largo del capilar, esto provoco que la retención de hidrocarburo en los tamaños 0.84 mm y 0.59 mm descendiera (Ortiz *et al.*, 2006; Ali *et al*., 2012; Likon *et al*., 2013)

Se encontró que el tiempo no es una variable relevante que afecte la capacidad de absorción de forma significativa, sin embargo, se observan oscilaciones (aumento y disminución) en la absorción de hidrocarburo. Contrario a lo mencionado en otras investigaciones en donde al transcurrir el tiempo aumenta la absorción de hidrocarburo, debido a que los materiales evaluados en esas investigaciones cuentan con un volumen establecido por los tratamientos para aumentar o potencializar la capacidad de retención (térmicos y químicos), es por ellos que al transcurrir un tiempo determinado seguirán absorbiendo hidrocarburo (Annunciado, 2005). En el caso de los pastos, las oscilaciones en los resultados se explican por la dilación capilar influenciado por los solventes orgánicos presentes en el hidrocarburo (Salazar, 2012; Méndez *et al.*, 2012; Behnood *et al*., 2013).

Además, se encontró el tiempo de saturación a 60 minuto en el pasto *P. maximum* y en *C. nlemfuensis* fue a 2 minutos. Estas variaciones en el tiempo de saturación son causadas por el tamaño del capilar, es decir en el pasto *P. maximum* tiene un capilar es más grande (180 µm) por lo que la saturación es lenta (60 minutos), contrario a *C. nlemfuensis* en donde el tamaño del capilar es pequeño (0.5 µm) y la saturación es rápida (2 minutos) (Ortiz *et al.*, 2006; Wahi *et al*., 2013).

Se estableció que los tamaños de partícula del pasto *P. maximum* tiene una absorción de agua (ionizada y desionizada) de 7 veces su peso, a continuación, está el pasto *C. nlemfuensis* que tiene una retención de agua (ionizada y desionizada) de 6.5 veces su peso, por lo que no se consideran materiales hidrófobos de acuerdo con lo que establece la norma ASTM F 726-99. La falta de hidrofobicidad se explica por la cantidad de fibra cruda presente en el pastos *P. maximum* (5.59% de fibra cruda) y en el pastos *C. nlemfuensis* (11.30%), dicha concentración de fibra indica la baja concentración de lignina, la encarga de proporcionar las hidrofobicidad, como lo indico Ramírez y colaboradores (2010) en donde *P. maximum* alcanzo mayor hidrofobicidad con un 64.28% de fibra, al igual que Villalobos y Arce (2013) encontraron en *C. nlemfuensis* un 40.3% de fibra (Ramírez *et al*., 2010; Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Ambiente, 2015; Vargas, 2016).

En la comparación de los del material absorbente industrializado contra los pastos, se determinó que los pastos son mejores absorbiendo hidrocarburo que la mazorca de maíz, sin embargo, ambos materiales no son hidrofóbicos. La poca absorción de hidrocarburo en la mazorca de maíz se debe a la poca superficie de contacto en su estructura interna y la falta de hidrofobicidad esta falta de hidrofobicidad es causada por la presencia de celulosa que tiene propiedades de hidrofilia como lo indico Kelle y colaboradores (2013) en un ensayo de absorción en la mazorca de maíz.

VII. Conclusiones

- Se comprobó que es posible utilizar los pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis* en la recolección de hidrocarburo derramado.

- La utilización de los pastos en los derrames tiene ventajas como el bajo costo, no quieren activación física o química y el tiempo que tarde en obtener la máxima saturación es corto.

- No se recomienda el uso de los pastos en la contención de derrames en medio acuoso, debido que este material no cuenta con propiedades hidrofóbicas.

- El material industrializado, no supero la capacidad de absorción de los pastos evaluados por lo que se considera menos eficiente, además, no cuenta con propiedades hidrofóbicas.

- Los resultados de esta investigación sugieren que los pastos *P. maximum* y *C. nlemfuensis* son potencialmente útiles en la limpieza de herramientas y superficies contaminadas con hidrocarburo.

- Se recomienda utilizar cualquiera de los dos pastos cuando el hidrocarburo derramado sea semipesado (22.4 API)

- Es recomendable utilizar el pasto con las condiciones (tamaño de corte y % de humedad) probadas en este estudio para alcázar los resultados deseados.

Aplicaciones prácticas

Las aplicaciones prácticas que se encontraron para esta investigación es la reducción del rebrote de los pastos exóticos invasores al ser utilizados en la contención y recolección de hidrocarburo, así como, la reducción del impacto que ocasionan las especies exóticas invasoras a las especies locales. Además, el pasto como material absorbente es útil en la limpieza de superficies (pisos), maquinaria y herramienta que este contaminado con hidrocarburo.

VIII. Bibliografía

Aguirre, J., Magaña, R., Martínez, S., Gómez, A., Ramírez, J.C., Barajas, R., Plascencia, A., Barcena, R. y García, D.E. 2010. Caracterización nutricional y uso de la caña de azúcar y residuos transformados en dietas para ovinos. Zootecnia Tropical. **28(4)**: 489-497.

Alan, E. y Martínez, M. 2010. Vegetación y uso de suelo en Veracruz. CONABIO, México. 203-226 pp.

Ali, I., Asim, M. y Khan, T.A. 2012. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. Journal of Environmental Management. **113**: 170-183.

American Society for Testing and Materials. 2012. ASTM D 287 API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum Products (Hydrometer Method).

American Society for Testing and Materials. 2012. ASTM F 726 Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents.

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 (12)**: 1340–1346.

Avila, R., Barbera, P., Blanco, L., Burghi, V., De Battista, J.P., Frasinelli, C., Frigerio, K., Gándara, L. Goldfarb, M.C, Griffa, S., Grunberg, K., Leal, K., Kunst, C., Lacorte, S., Lauric, A., Martínez, M., Mc Lean, G., Nenning, F., Otondo, J., Petruzzi, H., Pizzio, R., Pueyo, J.D., Ré, A.E., Ribotta, A., Romero, L., Stritzler, N.,

Tomas, M.A., Torres, C., Ugarte, C. y Veneciano, J. 2014. Gramíneas forrajeras para el subtrópico y el semiárido central de la Argentina. Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales e Investigación Animal del Chaco Semiárido. 72 pp.

Bach, A. y Calsamiglia, S. 2006. La fibra de los rumiantes: ¿química o física?. XXII Curso de especialización FEDNA, Barcelona. 99-113 pp.

Badii, M. H., Guillen, A., Rodríguez, C.E., Lugo, O., Aguilar, J. y Acuña, M. 2015. Pérdida de biodiversidad: causas y efectos. Daena: International Journal of Good Conscience. **10 (2)**: 156-174 pp.

Behnood, R., Anvaripour, B., Fard, N.J.H. y Farasati, M. 2013. Petroleum hydrocarbons adsorption from aqueous solution by raw sugarcane bagasse. International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE). **1 (6)**: 96-99 pp.

Blanco, M.S, Malaver, M. y Pezo, S. 2003. Manual práctico de ganadería. Intermediate Technology Development Group (ITDG), Lima, Perú. 51 pp.

Brown, A., Pérez, J.A. y Izquierdo, Y. 2015. Incremento del valor calórico del bagazo a partir de su empleo en derrames de hidrocarburos. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar. **49 (1)**: 10-16.

Capdevila, L., Zilletti, B. y Suárez, V.A. 2013. Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies Exóticas Invasoras. Sociedad Española de Historia Natural. **2 (10)**: 55-75 pp.

Cojocaru, C., Macoveanu, M. y Cretescu, I. 2011. Peat-based sorbents for the removal of oil spills from water surface: Application of artificial neural network modeling. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. **384 (1)**: 675-684 pp.

Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 94 pp.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2016. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 34 pp.

Contreras, A. y Molero, M. 2009. Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid. 384 pp.

Contreras, J.G. 2015. Niveles de contenido ruminal en ensilaje del pasto *Panicum maximum* cv. tanzania y valoración bromatológica en cuatro tiempos de conservación. Tesis licenciatura. Universidad técnica estatal de Quevedo, Ecuador.

Danglad, J.A., Marfisi, S., Cova, A.J. y Linero, G. E. 2013. Partículas hidrófobas de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de hidrocarburo en agua. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. **25 (1)**: 97-103 pp.

Dave, D., Alharathi, R. y Ghaly, A. 2011. Sequential Remediation Processes for Effective Removal of Oil from Contaminated Soils. American Journal of Environmental Sciences. **7(5)**: 477-491 pp.

Del Pozo, P.P. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. Pastos. **32(2)**:109-137 pp.

Diario Oficial de la Federación. 2014. Plan municipal de desarrollo 2014-2017. México. 153 pp.

Diario Oficial de la Federación. 2013. Plan de desarrollo nacional 2013-2018. México. 184 pp.

Díaz, M.A., Rivas, L., Acosta, J., Miller, S., Romero, R., Hernández, D. y Laffita, C. 2013. Evaluación a escala de banco de materiales absorbentes para recogida de hidrocarburos en suelos. IV Congreso Cubano de Petróleo y Gas. 13 pp.

Elizondo, J.A. 2015. Calidad nutricional y consumo de forraje de maíz (*Zea mays*) y forraje de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) con o sin alimento balanceado en cabras. Nutrición Animal Tropical. **9(2)**: 11-26 pp.

Fernández, A.E. 2015. Evaluación de parámetros Energéticos-Proteicos y Productivos del *Panicum maximum* y *P. coloratum*, en diferentes estados de

madurez y por efectos de defoliaciones periódicas, su impacto sobre los sistemas de producción de carne bovina. Estrategias de mejora. Tesis posdoctoral. Instituto de ciencia animal, Argentina.

González, A.I., Barrios, Y., Born-Schmidt, G. y Koleff, P. 2014. El sistema de información sobre especies invasoras, especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 95-112 pp.

Hernández, I. y Mager, D. 2003. Uso de *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con un crudo de petróleo liviano. Bioagro **15 (3)**: 1-9 pp.

Hernández, B., Zavala, J., Martínez, S., Dendooven, L., Contreras, S.M., Noa, J.C., Fragoso, Ortiz, A.I. 2013. Earthworm populations in an aged hrdrocarbon contaminated soil. Research Journal of Enviromental Sciences. **7(1)**: 27-37 pp.

Herrera, R. 2014. Algunos aspectos que pueden influir en el rigor y veracidad del muestreo de pastos y forrajes. Avances en Investigación Agropecuaria. **18 (2)**: 7-26 pp.

Husseien, M., Amer, A.A., El-Maghraby, A. y Taha, N.A. 2009. Availability of barley straw application on oil spill clean up. International Journal of Environmental Science and Technology. **6 (1)**:123-130 pp.

Ibrahim, S., Wang, S. y Ang, H.M. 2010. Removal of emulsified oil from oily wastewater using agricultural waste barley straw. Biochemical Engineering Journal. **49 (1)**: 78–83 pp.

Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). 2014. Tipos de hidrocarburo. [Actualizado 9 de diciembre]. Página electrónica (http://www.imp.mx/petroleo/?imp=tipos).

Juárez, J. y Bolaños, E.D. 2007. Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. Universidad y ciencia tópico húmedo. **23 (1)**:81-90 pp.

Kelle, H.I., Eboatu, A.N., Ofoegbu O. y Udeozo I.P.2013. Determination of the viability of an agricultural solid waste; corncob as an oil spill sorbent mop. Journal of Applied Chemistry. **6(2)**:30-57 pp.

Lezama, C., Tintos, A., Patiño, M., Hernández, G., Chávez, J.C., Pinzón, C. O., Gómez, C., y Zamora, J. E. 2012. Capacidad de retención de hidrocarburos empleando subproductos industriales. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. **8 (1)**: 21-29 pp.

Likon, M., Remškar, M., Ducman, V. y Šegl, F. 2013. Populus seed fibers as a natural source for production of oil super absorbents. Journal of Environmental Management.**114:** 158-167 pp.

López, M. 2013. Desarrollo sustentable en la utilización de bagazo de la caña de azúcar como material adsorbente para minimizar el impacto de contaminación

marina por derrame de hidrocarburo. Tesis Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Altamira. México.

Martínez, M.E. 2013. Remediación de agua contaminada con hidrocarburo utilizando *Pennisetum clandestinum* como bioadsorbente. Tesis Licenciatura. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Martínez, P.C, Rosa, E., Rodríguez, I., Izquierdo, V.E y Leiva, J. 2015. Alternativas sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales oleosas generadas en las centrales eléctricas que operan con diésel. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba. **49 (2)**: 74-82 pp.

Martínez, P.C., Rodríguez, I. R., Esperanza, G. y Leiva, J. 2013. Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos. Centro de Estudio de Química Aplicada. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba. **71 (565)**:57-62 pp.

Mejía, H. y Luna, J. 2010. Especies no nativas, el riesgo ambiental y la alternativa económica. Narraciones de la ciencia y la tecnología. 25-31 pp.

Méndez, M., Machado, J.A. y Guerra, R. 2012. Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de hidrocarburos sobre cinco materiales adsorbentes tipo II utilizando un método estandarizado internacional. Tecnología, ciencia y educación. **27 (2)**:94-100 pp.

Montoya, E. A., Agudelo, C. A., Prías, J. J. y Ariza, H. 2014. Obtención de carbón activado a partir del aserrín de guadua *Angustifolia kunth* en una sola fase. Instituto Interdisciplinario de las Ciencias. 69-81 pp.

Navarro, M., Orlando, M. y Villamizar, I. 2012. Evaluación de diferentes frecuencias de corte en guinea mombaza (*Panicum maximum Jacq*), bajo condiciones de sol y sombra natural influenciada por el dosel de campano (*Pithecellobium saman*) en Sampués, Sucre. Revista Colombiana de Ciencia Animal. **4(2)**:377-395 pp.

Nieto, G.R., Siqueiros, M.E., Luna, J.J., Flores, E. y Moreno, O. 2015. Taxonomía y distribución del género spartina (poaceae) en México. Botanical Sciences. **93 (4)**: 829-843 pp.

Ortega, C.A., Lemus, C., Bugarín, J.O., Alejo, G., Ramos, A., Grageola, O. y Bonilla, J.A. 2015. Características agronómicas, composición bromatológica, digestibilidad y consumo animal en cuatro especies de pastos de los géneros *Brachiaria* y *Panicum*. Tropical and Subtropical Agroecosystems. **18 (3)**: 291-301 pp.

Ortiz, D.P., Andrade, F., Rodríguez, G. y Montenegro, L.C. 2006. Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. Ingeniería e Investigación. **26 (2)**: 20-27 pp.

Osuna, A.K., Díaz, J.J., De anda, J., Villegas, E., Gallardo, J. y Dávila, G. 2015. Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río

Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science. **10 (2)**. 33-40 pp.

Palta, G.H. y Morales, S. 2013. Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. **11 (2)**: 57-65 pp.

Petróleos Mexicanos (PEMEX). 2000. Hoja de datos de seguridad crudo Maya. 4 pp.

Petróleos Mexicanos. 2016. Informa anual 2015. México. 249 pp.

Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Ambiente. 2015. Conservación de forrajes. Managua, Nicaragua. 84 pp.

Rangel, S.X. 2012. Estudio del efecto de enzimas ligninolíticas y celulolíticas obtenidas del hongo *Pleurotus ostreatus* sobre una gramínea forrajera tropical. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. 147 pp.

Reátegui, D. R, Hernandez, D. E. H. y Santana, R. M. C. 2014. Influencia del tamaño de partículas de compuestos termoplásticos en la capacidad adsorbente de óleo. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. **21**:8020-8027 pp.

Regalado, I., Leiseca, A., Cabera, Y., Franco, F. y Bulnes, C. 2014. Cambios anatómicos en la especie *Cynodon nlemfuensis Vanderhyst* en suelos

contaminados por metales pesados. Revista Ciencia Técnicas Agropecuarias. **23(4)**: 37-42 pp.

Reyes, J.E., Martínez, C.O., Loaiza, A. y Moreno, T. 2013. Establecimiento y manejo de praderas de Pretoria 90 y Tanzania en temporal. Fundación produce Sinaloa A.C. Enlace, innovación y progreso, Sinaloa, México. 23 pp.

Rincon, A., Ligarreto, G.A y Garay, E. 2008. Forage production in the grasses *Brachiaria decumbens* cv. amargo and *Brachiaria brizantha* cv. toledo subjected to three frequencies and two of defoliation intensities under conditions of colombian plain piedmont. Revista Facultad Nacional Agraria de Medellín. **61(1)**:4336-4346 pp.

Rincones, F., Marfisi, S., Ganglad, J.A y Salazar, V. 2015. Adsorción de hidrocarburos de petróleo en agua mediante una columna empacada con bagazo de caña de azúcar. Ciencias básicas y tecnología. **27(3)**: 441-453 pp.

Rodríguez-Petit, A. 2013. Prácticas de manejo de pastizales y productividad de leche en la Cuenca del Lago de Maracaibo. En: Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales. Cuadernos Científicos GIRARZ 13. Perozo Bravo A. (ed). Fundación GIRARZ. La Universidad del Zulia. Ediciones Astro Data S.A. 105-115 pp.

Salazar, E. 2012. Remoción de hidrocarburos mediante biopolímeros naturales: efecto del tamaño de partícula. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

Sangabriel, W., Ferrera, R., Trejo, D., Mendoza, M.R.,Cruz, S., López, C., Delgadillo, J. y Alarcón A. 2006. Tolerancia y capacidad de fitoremediación de combustóleo en el suelo por seis especies vegetales. Revista internacional de contaminación. **22 (2)**: 63-73 pp.

Sarkaheil, H., Tavakoli, J., Behnood, R. 2014. Oil by-product removal from aqueous solution using sugarcane bagasse as absorbent. International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE). **2**: 48-52 pp.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Guía de buenas prácticas ambientales para el uso, la selección y aplicación de dispersantes, en el control de derrames de hidrocarburos en el medio marino. México. Primera edición.

Secretaria de Energía (SENER). 2013. Prospectiva de hidrocarburo crudo y petrolíferos 2013-2027. México.

Singh, V., Kendall, R.J., Hake, K. y Ramkumar, S. 2013. Crude Oil Sorption by Raw Cotton. Industrial & Engineering Chemistry Research. **52 (44)**: 6277−6281 pp.

Unión Ganadera Regional de Jalisco (UGRJ). 2015. *Panicum maximum Jacq.* y *Cynodon nlemfuensis Vanderyst*. [Actualizado 23 de noviembre]. Página electrónica (http://www.ugrj.org.mx)

Vargas, J.M. 2016. La calidad de los forrajes para los rumiantes. Entono ganadero.**78 (13)**: 1-8 pp.

Villalobos, L. y Arce, J. 2013. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. I. Disponibilidad de biomasa y fenología. Agronomía Costarricense. **37(1)**: 91-101 pp.

Vinent, E., Fajardo, O., Batista, R.A., Martínez, A.L., Sánchez, A., Beltrán, L.M., Diago, E. y Villavicencio, K.N. 2011. Explotación sostenible del kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L.). I. Absorbentes naturales de hidrocarburos. Temas de Ciencia y Tecnología. **15 (44)**: 23 – 30 pp.

Vlaev, L., Petkov, P., Dimitrov, A. y Genieva, S. 2011. Cleanup of water polluted with crude oil or diesel fuel using rice husks ash. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. **42 (5)**: 957–964 pp.

Wahi, R., Chuah, L.A., Yaw Choong, T.S., Ngaini, Z. y Nourouzi, M.M. 2013. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. Separation and Purification Technology. **113 (1)**: 51–63 pp.

Anexo 1

1.1 Determinación de materia seca y humedad

Para la terminación de este apartado se utilizó una estufa desecadora en la que dentro se le coloco una tara de aluminio durante 10 minutos, pasado ese lapso de tiempo se sacó la tara y se colocó en un desecador de vidrio alrededor de 10 minutos, hasta que obtuvimos peso contante en la tara, este peso fue anotado en una tabla de registro (anexo 1.10). Posteriormente de que se obtuvo peso contante en la tara encima de este se colocó 150 gr de pasto fresco picado, estos dos se llevaron a la estufa de desecación con una temperatura de 55-60ºC durante 48- 72 horas, después que la muestra estuvo desecada, se retiró de la estufa y se pasó al desecador hasta que se enfrió, posteriormente se pesó la muestra y se anotó en la hoja de registro. Con los datos anteriores se calculó el porcentaje de materia seca y humedad con las siguientes formula 1,2 y 3:

$$gr.m = (T + MF) - T \quad (1)$$

$$\%H = \frac{(T+MF)-(T-MD)}{gr.m} \times 100 \quad (2)$$

$$\%\,MS = 100 - \%\,H \quad (3)$$

Donde:

T= Tara

MF= Materia fresca

MD= Materia desecada

gr.m= Gramos de muestra

% H= Porcentaje de humedad

% MS= Porcentaje de materia seca

1.2 Determinación de proteína cruda

Del paso anterior (1.1) se tomó una muestra de 1.5 gr de pasto desecado y se molió para poder manejar la muestra, esta sección está compuesta por tres fases. En la primera se puso en contacto con 1.5 gr de mezcla catalizadora (sulfato de sodio, sulfato cúprico y selenio), 15 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y 5 perlas de vidrio. A continuación se coloca todo lo anterior en el equipo Kjedhal a una temperatura de 60- 70ºC, se dejó funcionando el equipo durante 1 hora hasta que el contenido del matraz tomo un color verde esmeralda, después de que sucedió lo anterior se dejó enfriar.

En la segunda fase de esta determinación se le agregaron 30 ml de agua destilada al contenido que se obtuvo en la fase 1. Después en un matraz Erlenmeyer se agregaron 10 gotas de indicador rojo de metilo y 40 ml de ácido bórico (H_2BO_4) al 4% de la mezcla se obtuvo un color fucsia, a este matraz se le coloco un tubo de vidrio y se introdujo al aparato de Kjeldhal y en la parte superior de este aparato se colocó el matas Kjeldhal, posteriormente se colocó la trampa de nitrógeno sin cerrar porque se introduce también en el matraz Kjeldhal 3 escamas de zinc y 40 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 40%, después de que adiciono lo último se

cierra la trampa de nitrógeno. A continuación se encendió la llave de agua y después el aparato de Kjeldhal a una temperatura de 60- 70 ºC, hasta que caiga la primera gota al matraz Erlenmeyer, se esperó hasta que el color fucsia cambiara a color amarillo. A continuación del cambio de color (amarillo) se extrajo 200 mL, por último se apaga el equipo y se continuó con la última fase.

En la fase tres en una bureta automática se introdujo ácido clorhídrico (HCl) al 0.1 de normalidad, debajo de esta bureta automática se colocó un matraz Erlenmeyer que contenía lo de la fase dos y se dejó caer gota por gota hasta que el contenido del matraz cambio de amarillo a fucsia, habiendo sucedido lo anterior se detuvo el goteo y se anotó en la hoja de registro el total de ml necesarios para que cambiara de color. Por último se determinó el porcentaje de proteína cruda con la formula siguientes.

$$\%\ PC\ BS\ al\ 100\% = \frac{ml\ U \times N.A \times 0.014 \times 6.25}{(gr.m)^2} \times 100\% \quad (4)$$

$$\%PC\ BH = \frac{\%PCBS\ al\ 100\%}{100} \times MS \quad (5)$$

$$\%PC\ BS\ al\ 90\% = \%\ PC\ BS\ al\ 100\% \times 0.9 \quad (6)$$

Donde:

ml U: Mililitros utilizados de HCl

N.A= Normalidad del ácido

gr. M= Gramos de muestra

MS= Materia seca

%PC BS al 100%= Porcentaje de proteína cruda en base seca al 100%

%PC BS al 90%= Porcentaje de proteína cruda en base seca al 90%

%PC BH=Porcentaje de proteína cruda en base húmeda

1.3 Determinación de cenizas totales

Cuando se determinó cenizas totales fue necesario una estufa desecadora en la que se colocó un crisol de porcelana durante 10 min, pasado este tiempo se sacó y se puso en un desecador de vidrio otros 10 min, hasta que se logró masa contante en el crisol, después ese masa se anotó en la hoja de registro. Se anadió1.5 gr de pasto ya desecado al crisol, todo esto se llevó a la mufla a una temperatura de 550 ^{o}C durante 4 hr, ya que cumplió este tiempo se apagó la mufla y se dejó enfriar dentro de la misma, una vez que estuvo frío el crisol se sacó con ayuda de una pinzas y se llevó a la estufa desecadora por 10 min, posterior a esto se introdujo al desecador de vidrio por 10 min. Cuando finalizo el tiempo se tomó la masa del crisol y se anotó en la hoja de registro.

En la determinación de cenizas totales se utilizaron las siguientes formulas:

$$\%CT\ BH = \frac{(Pc + C) - Pcs}{(gr.m)^3} \times MS \quad (7)$$

$$\%CT\ BS\ al\ 100\% = \frac{\%\ CT\ BH}{MS} \times 100 \quad (8)$$

$$\%CT\ BS\ al\ 90\% = \%CT\ BS\ al\ 100\% \times 0.9 \quad (9)$$

Donde:

Pcs= Masa de crisol solo

Pc + C= Masa del crisol más cenizas

gr.m= Gramos de muestra

MS= Materia seca

% CT BS al 100%= Porcentaje de cenizas totales en base seca al 100%

% CT BS al 90%= Porcentaje de cenizas totales en base seca al 90%

% CT BH =Porcentaje de cenizas totales en base húmeda

1.4. Determinación de extracto etéreo

Primero se introdujo un cartucho en la estufa desecadora por 10 min, posteriormente se retiró para colocarse en el desecador de vidrio, hasta que se obtuvo masa contante, después de que se obtuvo masa constante en el cartucho se anotó la masa obtenida en la hoja de registro. En el cartucho se colocó 5 gr de pasto y se llevó a la cámara de muestras soxlhet, también se preparó un matraz de fondo de balón con 40 ml de éter de petróleo. Antes de que se utilizó el equipo soxlher se abrió la llave del agua y se encendió el equipo a una temperatura de 60ºC durante 6 o 8 hr hasta que inicio su ebullición, después de que sucedió esto se sacó el cartucho y se llevó a la estufa desecadora durante 24 hr. Cuando el cartucho estuvo completamente seco, se sacó y se llevó al desecador de vidrio durante 10 min. Por último se toma la masa del cartucho y se registra en la hoja de registro.

En la determinación de extracto etéreo utilizaron las siguientes formulas:

$$\%EE\ BH = \frac{(Pcs+gr.m)-(Pc+MD)}{(gr.m)^4} \times MS \quad (10)$$

$$\%\ EE\ BS\ al\ 100\% = \frac{\%EE\ BH}{MS} \times 100 \quad (11)$$

$$\%EE\ BS\ al\ 90\% = \%\ EE\ BS\ al\ 100\% \times 0.9 \quad (12)$$

Donde:

Pcs= Masa del cartucho solo

Pc+MD= Masa del cartucho más muestra desgrasada

gr.m= Gramos de pasto

MS= Materia seca

%EE BS al 100%=Porcentaje de extracto etéreo en base seca al 100%

%EE BS al 90%=Porcentaje de extracto etéreo en base seca al 90%

%EE BH=Porcentaje de extracto etéreo en base húmeda

1.5 Determinación de fibra cruda

La determinación de fibra cruda está divida en dos fases, en la primera se introdujo en un vaso de Berzelius 1.5 gr de pasto desengrasado, también se agregó 200 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 1.25%, este vaso se colocó en el equipo para determinar fibra cruda y antes de iniciar se abrieron las llaves de agua, a continuación se encendió a una temperatura de 60ºC durante 30 min,

también se consideró que la ebullición se dio de forma lenta (control de temperatura). Una vez que habían transcurrido los 30 min, se apaga el equipo y se retiró el vaso e inmediatamente después se le añadió 100 ml de agua de la llave de forma envolvente.

Por otro lado se colocó papel filtro Whatman en la estufa desecadora durante 10 min, se retiró después de los 10 min y se llevó al desecador de vidrio otro 10 min con el fin de obtener masa contante. Cuando se obtuvo masa constante se anotó en la hoja de registro esta información. Este papel filtro se puso sobre el embudo Büchner y con este embudo se filtró el contenido del vaso Berzelius con ayuda de una bomba de vació y los matraz Kitasaro

En la fase dos se utilizó el papel filtro de la fase anterior, con ayuda de una pizeta de plástico que contenía hidróxido de sodio (NaOH) al 1.25% se lavó cuidadosamente el papel filtro y se recolectan la muestras que contenía el papel filtro en el vaso de Berzelius y se agregó hidróxido de sodio hasta a completar 200 ml, este vaso se colocó en el equipo para determinar fibra cruda y antes de iniciar se abrieron las llaves de agua, a continuación se encendió a una temperatura de 60 ^{o}C durante 30 min, también se consideró que la ebullición se dio de forma lenta (se controló la temperatura). Una vez que habían transcurrido los 30 min, se apaga el equipo y se retiró el vaso e inmediatamente después se le añadió 100 ml de agua de la llave de forma envolvente.

Posteriormente se colocó papel filtro Whatman de la fase anterior sobre el embudo Büchner y con este embudo se filtró el contenido del vaso Berzelius con ayuda de una bomba de vació y los matraz Kitasaro. Una vez que estuvo filtrada la muestra, se extrajo el papel filtro (con cuidado para no romperlo), se dolo en 4 partes iguales y se llevó la estufa desecadora durante 24 hr, una vez transcurrido el tiempo, se llevó al desecador de vidrio otro 10 min con el fin de obtener masa contante. Cuando se obtuvo masa constante se anotó en la hoja de registro esta información.

Por ultimo para determinar el porcentaje de fibra cruda se utilizaron las siguientes formulas:

$$F = MS - (\%EE\ BH + \%CT\ BH) \tag{13}$$

$$\%FC\ BH = \frac{(Pp+M)-Pps}{(gr.m)^5} \times F \tag{14}$$

$$\%FC\ BS\ al\ 100\% = \frac{\%\ FC\ BH}{MS} \times 100 \tag{15}$$

$$\%FC\ BS\ al\ 90\% = \%\ FC\ BS\ al\ 100\% \times 0.9 \tag{16}$$

Donde:

F=Factor

Pps= Masa del papel seco

gr.m= Gramos de muestra

MS= Materia seca

%FC BS al 100%= Porcentaje de fibra cruda en base seca al 100%

%FC BS al 90%= Porcentaje de fibra cruda en base seca al 90%

%FC BH= Porcentaje de fibra cruda en base húmeda

1.6 Determinación de elementos libres de nitrógeno

El proceso para esta determinación consistió en la suma de los porcentajes de PC, EE, FC y CT en base húmeda, restando a su vez el porcentaje de materia seca. Para este cálculo se utilizaron las siguientes formulas:

$$\%\,ELN\ BH = MS - (\%PC\ BH + \%EE\ BH + \%FC\ BH + \%CT\ BH) \qquad (17)$$

$$\%ELN\ BS\ al\ 100\% = \frac{\%ELN\ BH}{MS} \times 100 \qquad (18)$$

$$\%ELN\ BS\ al\ 90\% = \%ELN\ BS\ al\ 100\% \times 0.9 \qquad (19)$$

Donde:

%PC BH= Porcentaje de proteína cruda en base húmeda

%EE BH= Porcentaje de extracto etéreo en base húmeda

%FC BH= Porcentaje de fibra cruda en base húmeda

%CN BH= Porcentaje de cenizas totales en base húmeda

MS= Materia seca

%ELN BH al 100%= Porcentaje de elementos libres de nitrógeno en base seca al 100%

%ELN BS al 90%= Porcentaje de elementos libres de nitrógeno en base seca al 90%

%ELN BH al 100%= Porcentaje de elementos libres de nitrógeno en base húmeda

1.7 Determinación de total de nutrientes digestibles

Esta determinación se realizó mediante una multiplicación de los porcentajes de PC, FC, EE y ELN en base húmeda por factores ya establecidos para cada uno, posteriormente sumando los resultados de los mismos. Se utilizaron las siguientes formulas:

$$\%TND\ BH = (\%PC\ BH \times 0.75) + (\%FC\ BH \times 0.5) + (\%EE\ BH \times 0.9 \times 2.25) + (\%ELN\ BH \times 0.9) \quad (20)$$

$$\%TND\ BS\ al\ 100\% = \frac{\%TND\ BH}{MS} \times 100 \quad (21)$$

$$\%TND\ BS\ al\ 90\% = \%TND\ BS\ al\ 100\% \times 0.9 \quad (22)$$

Donde:

%PC BH= Porcentaje de proteína cruda en base húmeda

%EE BH= Porcentaje de extracto etéreo en base húmeda

%FC BH= Porcentaje de fibra cruda en base húmeda

%ELN BH=Porcentaje de elementos libres de nitrógeno en base húmeda

MS=Materia seca

%TND BS al 100%=Porcentaje total de nutrientes digestibles en base seca al 100%

%TND BS al 90%=Porcentaje total de nutrientes digestibles en base seca al 90%

%TND BH=Porcentaje total de nutrientes digestibles en base húmeda

1.8 Determinación de energía digestible

Se realizaron los cálculos para esta determinación se utilizó el total de nutrientes digestibles divido entre 100 y se multiplico el resultado por una constantes. En la determinación de energía digestible se utilizaron las siguientes formulas:

$$\%ED\ BH = \frac{\%TND\ BH}{100} \times 4.409 \times 1000 \quad (23)$$

$$\%ED\ BS\ al\ 100\% = \frac{\%ED\ BH}{MS} \times 100 \quad (24)$$

$$\%ED\ BS\ al\ 90\% = \%ED\ BS\ al\ 100\% \times 0.9 \quad (25)$$

Donde:

%TND BH= Porcentaje de total de nutrientes digestibles en base húmeda
MS=Materia seca
%ED BS al 100%=Porcentaje de energía digestible en base seca al 100%
%ED BS al 90%=Porcentaje de energía digestible en base seca al 90%
%ED BH=Porcentaje de energía digestible en base húmeda

1.9 Determinación de energía metabolizable

Se calculó por la multiplicación del porcentaje de energía digestible en base húmeda por una constante y se consideró que la energía metabolizable corresponde al 82% de la energía digestible. Para la determinación se utilizaron las siguientes formulas:

$$\%EM\ BH = \%ED\ BH \times 0.82 \times 1000 \quad (26)$$

$$\%EM\ BS\ al\ 100\% = \frac{\%EM\ BH}{MS} \times 100 \quad (27)$$

$$\%EM\ BS\ al\ 90\% = \%EM\ BS\ al\ 100\% \times 0.9 \quad (28)$$

Donde:

%ED BH=Porcentaje de energía digestible en base húmeda

MS= Materia seca

%EM BS al 100%=Porcentaje de energía metabolizable en base seca al 100%

%EM BS al 90%=Porcentaje de energía metabolizable en base seca al 90%

%EM BH=Porcentaje de energía metabolizable en base húmeda

1.10. Hoja de registro de bromatología

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS
Zona Poza Rica – Túxpan

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA ANIMAL

Ingrediente: _____

Remitente: _____

Procedencia: _____

Tipo de análisis: _____ fecha: _____

HUMEDAD Y MATERIA SECA

A) T= _____ T + MF= _____ T + MD= _____

B) T= _____ T + MF= _____ T + MD= _____

% H = _____

% MS = _____

PROTEÍNA CRUDA

A) ml util de A. C = _____ Norm del Acido = _____ gr de muestra = _____

B) ml util de A. C = _____ Norm del Acido = _____ gr de muestra = _____

% PCA = _____

% PCB = _____

		% BASE HÚMEDA	% BASE SECA AL 90%	% BASE SECA AL 100%
PROTEÍNA CRUDA				
ml util de A. C				
Norm del Acido				
gr de muestra				
EXTRACTO ETÉREO				
PCS	PCS			
grs. m	grs. m			
PC + M	PC + M			
CENIZAS TOTALES				
PCS	PCS			
PC+C	PC+C			
grs. M	grs. M			
FIBRA CRUDA				
PP+M	PP+M			
PPS	PPS			
grs. m	grs. m			
% ELEMENTOS LIBRES DE NITRÓGENO (ELN)				
% TOTAL DE NUTRIENTES DIGESTIBLES (TND)				
ENERGÍA DIGESTIBLE Kcal/Kg.				
ENERGÍA METABOLIZABLE Kcal/Kg.				

Anexo 2

Resultado de análisis bromatología de las especies Panicum *máximum Jacq.* y de *Cynodon nlemfuensis Vanderyst.*

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA ANIMAL

Ingrediente:	*Panicum máximum 1.5 m*
Remitente:	Mariela Lazcano Vargas
Procedencia:	Col. Yanga, Poza Rica, Ver.
Tipo de Análisis:	Bromatológico Completo

Materia Seca %	25.66
Humedad %	74.34

	Base Húmeda %	**Base Seca 90%**	**Base Seca 100%**
Proteína Cruda	2.39	8.40	9.33
Extracto Etéreo	0.73	2.57	2.86
Cenizas Totales	3.42	12.00	13.33
Fibra Cruda	1.43	5.03	5.59
Elementos Libres de Nitrógeno	17.68	62.00	68.89
% de Total de Nutrientes Digestibles	17.26	60.52	67.25
Energía Digestible Kcal/kg	760.79	2668.39	2964.88
Energía Metabolizable Kcal/kg	623845.81	21880796.24	24311995.83

MDR. Diana Laura Díaz Inocencio

Responsable del Laboratorio de

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA ANIMAL

Ingrediente: *Cynodon nlemfuensis 25 cm de altura*

Remitente: Mariela Lazcano Vargas

Procedencia: Col. Yanga, Poza Rica, Ver.

Tipo de Análisis: Bromatológico Completo

Materia Seca %	27.29
Humedad %	72.71

	Base Húmeda %	Base Seca 90%	Base Seca 100%
Proteína Cruda	3.28	10.80	12.00
Extracto Etéreo	2.34	7.71	8.57
Cenizas Totales	1.82	6.00	6.67
Fibra Cruda	3.08	10.17	11.30
Elementos Libres de Nitrógeno	16.77	55.31	61.46
% de Total de Nutrientes Digestibles	21.31	70.29	78.10
Energía Digestible Kcal/kg	939.75	3099.21	3443.57
Energía Metabolizable Kcal/kg	770594.98	25413538.99	28237265.54

MDR. Diana Laura Díaz Inocencio

Responsable del Laboratorio de