



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**“USO DE LA FIBRA DE COCO PARA LA
ADSORCIÓN DE DIFERENTES
MUESTRAS DE HIDROCARBUROS -
AGUA Y SU RELACIÓN CON LA
SALINIDAD Y TEMPERATURA”**

PRESENTADO POR:

**Bach.: FERNANDO ABANTO QUINTANA
Bach: EDUARDO MARTIN TABOADA RODRIGUEZ**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

**LAMBAYEQUE – PERU
2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**“USO DE LA FIBRA DE COCO PARA LA ADSORCIÓN DE
DIFERENTES MUESTRAS DE HIDROCARBUROS - AGUA Y SU
RELACIÓN CON LA SALINIDAD Y TEMPERATURA”**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO QUÍMICO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Ing. MSc. Rubén Darío Sachún García
PRESIDENTE**

**Ing. Dra. Blanca Margarita Romero Guzmán
SECRETARIA**

**Ing. MSc. José Enrique Hernández Oré
VOCAL**

**Ing. Gerardo Santamaría Baldera
ASESOR**

LAMBAYEQUE – PERU

DEDICATORIA

A nuestros padres:

*Abanto Cabrera Osiel
Quintana Idrogo Emelina*

y

*Taboada Peralta Eduardo
Rodríguez Medina Mabel
Taboada Rodríguez Susan Juliana*

A nuestra familia y docentes

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos vida y salud para poder culminar este proyecto de investigación.

Agradecemos a nuestros padres, ya que ellos son el motivo de nuestros esfuerzos y objetivos.

Al Técnico de laboratorio Don Floriano Saucedo por su apoyo incondicional que siempre nos brindó.

A nuestro asesor el Ing. Santamaría Baldera Gerardo, por su colaboración en el desarrollo y la culminación de esta tesis.

A todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron posible la realización del presente trabajo de Tesis.

INDICE

	PÁG.
I. FUNDAMENTO TEORICO	01
1.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIO	01
1.2 BASE TEORICA	03
1.3DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....	06
II. MATERIALES Y METODOS	12
2.1 POBLACIÓN Y MUESTRA	21
2.2EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO.....	23
2.3PROCEDIMIENTO.....	23
III. RESULTADOS	29
IV. DISCUSIÓN	40
V. CONCLUSIONES	43
VI. RECOMENDACIONES	44
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
VIII. APENDICE.....	49
IX. ANEXOS.....	58

RESUMEN

Dada la necesidad de encontrar alternativas para reemplazar adsorbentes sintéticos por otros que sean de origen natural, biodegradables y fáciles de conseguir en alguna emergencia, en la presente investigación se determinó la influencia de la salinidad y temperatura de las mezclas hidrocarburo-agua durante el proceso de adsorción utilizando fibra de coco.

Para cumplir el objetivo principal primero se acondicionó la fibra de coco. Esta se sometió a un lavado, secado y molienda suave lográndose fibras de 2 a 3 cm de largo. Las emulsiones de hidrocarburos en agua se prepararon en una concentración de 10% en volumen. Los hidrocarburos ensayados fueron: kerosene, diésel B5 y gasolina de 84 octanos. Primero se midió la capacidad de adsorción de agua en la fibra de coco y luego se midió la capacidad de adsorción en la fibra de coco para los diferentes hidrocarburos adaptando la norma ASTM F-726 y el protocolo canadiense “Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program”. Las variables independientes ensayadas fueron temperatura (30, 50 y 70°C) y salinidad (300, 900 y 1500 mg NaCl/litro de emulsión). Para la elaboración de las isotermas se realizó el mismo procedimiento, pero en intervalos de 5 minutos hasta 30 minutos.

De acuerdo al análisis factorial de varianza si existe un efecto individual de cada variable ensayada, pero en forma combinada no tiene efecto. La variable que tiene mayor influencia es la temperatura.

Para los tres hidrocarburos la máxima capacidad y eficiencia de adsorción se encontró a 50°C y una salinidad de 900 mg NaCl/litro. En estas condiciones las eficiencias de adsorción fueron 93.936%, 98.762% y 85.888% para el kerosene, diésel y gasolina respectivamente.

El modelo de isoterma que más se ajustó a los datos experimentales fue la de Langmuir. Los valores de las constantes encontradas demostrarían que la fibra de coco tiene una gran afinidad por los hidrocarburos ensayados.

Palabras claves: adsorción, fibra de coco.

ABSTRACT

Given the need to find alternatives to replace synthetic adsorbents with others that are of natural origin, biodegradable and easy to achieve in any emergency, in the present investigation the influence of the salinity and temperature of the hydrocarbon-water mixtures was determined during the process of Adsorption using coconut fiber

To meet the main objective, coconut fiber was first conditioned. This was subjected to washing, drying and soft grinding, achieving fibers of 2 to 3 cm in length. The hydrocarbon emulsions in water were prepared in a concentration of 10% by volume. The hydrocarbons tested were: kerosene, diesel B5 and gasoline of 84 octanes. First the water adsorption capacity of the coconut fiber was measured and then the adsorption capacity of the coconut fiber for the different hydrocarbons was measured adapting the ASTM F-726 standard and the Canadian protocol "Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program ". The independent variables tested were temperature (30, 50 and 70 ° C) and salinity (300, 900 and 1500 mg NaCl / liter of emulsion). For the preparation of the isotherms the same procedure was performed, but at intervals of 5 minutes to 30 minutes.

According to the factorial analysis of variance if there is an individual effect of each variable tested, but in a combined way it has no effect. The variable that has the most influence is temperature.

For the three hydrocarbons the maximum capacity and efficiency of adsorption was found at 50 ° C and a salinity of 900 mg NaCl / liter. Under these conditions, the adsorption efficiencies were 93.936%, 98.762% and 85.888% for kerosene, diesel and gasoline respectively.

The isotherm model that was most adjusted to the experimental data was that of Langmuir. The values of the constants found would show that the coconut fiber has a great affinity for the hydrocarbons tested.

Keywords: adsorption, coconut fiber

INTRODUCCION

El petróleo crudo y sus derivados son una de las fuentes de energía más importantes del mundo. Sin embargo, cuando este recurso vital está fuera de control, puede destruir vidas y devastar el medio ambiente y la economía de una región en particular. A lo largo de los años, el derrame de petróleo crudo y su contaminación concomitante han estado en primera línea en cuestiones medioambientales en todo el mundo y en particular en los ríos de la Selva peruana. Su consiguiente contaminación altera el equilibrio ecológico del área derramada de petróleo. Durante el año 2016, hasta octubre se contabilizó diez derrames en nuestra Selva (El Comercio, 2016).

La presencia de petróleo crudo disuelto en el agua plantea riesgos ambientales significativos para las vidas acuáticas. Componentes del petróleo y sus derivados disueltos en agua, como el BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) que son cancerígenos pueden causar cáncer después de un largo tiempo de exposición. La conciencia del impacto del petróleo crudo derramado y sus productos sobre la salud humana y el medio ambiente está aumentando. Esta creciente preocupación por la contaminación del medio ambiente por los productos químicos orgánicos derivados de acontecimientos ecológicos naturales y procesos industriales ha creado la necesidad de la búsqueda de nuevas técnicas en la eliminación de estos contaminantes (Olufemi, *et al.* 2014).

Se han desarrollado varias iniciativas para tratar los derrames de hidrocarburos y sus correspondientes contaminantes procedentes de suelos y aguas contaminadas. Los sorbentes naturales siguen siendo uno de los métodos más fiables, rápidos, rentables y fácilmente disponibles para eliminar los derrames de aguas contaminadas y reducir su efecto sobre el medio ambiente. El inconveniente principal con los sorbentes naturales es el carácter hidrófobo del material que se puede tratar mediante modificación con materiales hidrófobos. Durante décadas, muchos investigadores se han centrado en la mejora del potencial del material natural que se utilizará como sorbentes para el tratamiento de derrames de petróleo con un éxito significativo (Silos, 2008).

Los materiales sorbentes de hidrocarburos pueden clasificarse de manera general en tres categorías: naturales orgánicos, naturales inorgánicos y sintéticos. Entre los primeros se pueden mencionar el bagazo de caña, la fibra de coco y el aserrín; ejemplos de los naturales inorgánicos son la arcilla, la vermiculita, la arena y la ceniza volcánica y dentro de los sintéticos se encuentran el poliuretano, polietileno y las fibras de nylon (Ortiz, *et al.*, 2006).

En nuestro país existe abundancia de coco con cáscara, llegando en los últimos años a superar las 35 mil toneladas, en su mayoría en la Selva peruana, en especial en San Martín (MINAGRI, 2015). La estopa o mesocarpo del coco se extrae fibra para elaborar pitas, alfombras, sacos, y otros productos. Esta fibra constituye el 10% del fruto entero (Quintanilla, 2010) y por lo tanto se tendría una gran disponibilidad de este material para ser usado como adsorbente de hidrocarburos de petróleo.

La cáscara de coco, de donde proviene la fibra, es abundante en la Selva peruana, y de probarse su efectividad se estaría dando un mayor valor agregado como material adsorbente para resolver problemas de derrames de hidrocarburos en los senos de agua de la región.

I. MARCO TEORICO

1.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

No se ha encontrado investigaciones sobre el uso de fibra de coco como material adsorbente de hidrocarburos derivados del petróleo cuando están mezclados con el agua. En la línea de adsorbentes naturales se presenta a continuación algunos estudios realizados en países extranjeros.

- Lim & Huang, (2006), En su investigación sobre la evaluación de kapok (*Ceiba pentandra* L.) como un sorbente fibroso hueco hidrófobo natural oleófilo para la limpieza de derrames de petróleo. Concluyen que la fibra kapok tiene una estructura hueca con gran luz. El rendimiento se compara con el de un polipropileno (PP), la re-utilización del kapok después de aplicarlos a adsorber distintos hidrocarburos también es evaluado, Al probar con mezclas de los hidrocarburos con agua, la adsorción es casi completa. Con kapok empaquetado a una densidad de 0.02 g/cm³ se prueba su reutilización, mostrando que después de usarlo cuatro veces solo pierde 30% de su capacidad de adsorción en comparación que cuando estaba virgen. Las características hidrofóbicas y oleofilicas de la fibra de kapok se atribuye a su superficie cerosa, mientras que su gran espacio hueco contribuye a su excelente capacidad de adsorción y retención de los hidrocarburos ensayados.

- Hussein *et al.* (2009), Investigan sobre la disponibilidad de la aplicación de paja de cebada en la limpieza del derrame de petróleo, concluyen que la biomasa vegetal es un recurso renovable que puede convertirse en materiales y energía útiles. La paja de cebada, es un residuo agrícola, usado como material sorbente. Ellos examinan la capacidad de absorción de paja de cebada cruda para diferentes productos derivados del petróleo y recolección de agua. La investigación revela que la capacidad de las fibras para eliminar el petróleo crudo del agua de mar se relaciona con las propiedades superficiales de las fibras, la concentración del aceite, el tamaño de la fibra, la cantidad de las fibras, así como la temperatura del

petróleo crudo, finalmente, puede reutilizarse 3 veces para alcanzar el 50% del primer valor de adsorción sugiriendo que la sustitución de adsorbentes comerciales de aceite sintético en la limpieza de derrames de petróleo es posible por residuos agrícolas y podría ser beneficioso al incorporar otras ventajas como la biodegradabilidad.

- Ortiz *et al.* (2012), En el marco del Congreso Interamericano de Ingeniería Química en su investigación sobre biomateriales adsorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. Utilizan materiales orgánicos naturales empleados como adsorbentes en las operaciones de limpieza de derrames de hidrocarburos tanto en suelos como en cuerpos de agua, concluyen que los resultados de la capacidad de adsorción dependían de algunas variables como la viscosidad del hidrocarburo, granulometría y estructura del material. En la adsorción de agua, la fibra de caña es la que mostró la mayor hidrofobicidad a diferencia del buchón el cual es bastante hidrofílico.
- Martínez (2013), En su tesis remediación de agua contaminada con petróleo utilizando pennisetum clandestinum como bioadsorbente, Concluye que el kikuyo, usado como bioadsorbente vegetal, demuestra ser una opción práctica para tratar derrames de petróleo en cuerpos de agua, sobre todo en regiones selváticas, como es el caso de la Amazonía ecuatoriana, donde no se cuenta con productos comerciales específicos.
- Olufemi *et al.* (2014), En su investigación sobre adsorción de petróleo crudo usando las tuzas del maíz molido, concluyen que la adsorción máxima se observa a 15 °C para el intervalo de temperatura considerado. Los resultados demuestran que es factible una adsorción de petróleo crudo con este material de desecho fácilmente disponible y biodegradable. Debido a su alta afinidad por el aceite y la baja captación de agua, el adsorbente de mazorca de malla es convincentemente oleófilo o hidrófobo.

- Djati *et al.* (2016), En su artículo propiedades adsorbentes del bagazo de caña (BC) tratado químicamente en soluciones petróleo crudo en agua, concluye que el bagazo de caña tratado con hidróxido de sodio demuestra la más baja capacidad de adsorción y ser más hidrófilo debido a su más bajo contenido de lignina. Los resultados muestran un uso potencial de materiales de bagazo de caña con alto contenido de lignina para resolver problemas de derrames de petróleo en ambientes acuosos.

A la fecha no se ha encontrado información científica sobre el tema en nuestro país. Se ha encontrado información sobre el uso de otros adsorbentes naturales.

1.2. BASE TEORICO

1.2.1. Hidrocarburo

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrogeno. Los hidrocarburos son los compuestos básicos que estudia la química orgánica. Las cadenas de átomos de carbono pueden ser lineales o ramificadas, y abiertas o cerradas. Los que tienen en su molécula otros elementos químicos (heteroátomos) se llaman hidrocarburos sustituidos.

La mayoría de los hidrocarburos que se encuentran en nuestro planeta ocurren naturalmente en el petróleo crudo, donde la materia orgánica descompuesta proporcionó una abundancia de carbono e hidrógeno, los que pudieron catenarse para formar cadenas aparentemente ilimitadas. Los hidrocarburos pueden encontrarse también en algunos planetas sin necesidad de que haya habido vida para generar petróleo, compuestos parcialmente por hidrocarburos como el metano o el etano.(McGraw Hill. Soto, J. 2001)

- **Kerosene**

Siendo el kerosene, un hidrocarburo derivado del petróleo, es un líquido oleaginoso inflamable, de color variado, incoloro, amarillento, rojo o verduzco. Es la mezcla compleja de cientos de compuestos diferentes, en su mayoría son los hidrocarburos compuestos los que contienen átomos de carbono e hidrogeno, formando moléculas de hasta 50 átomos de carbono las que muestran cantidades

de azufre, nitrógeno, oxígeno y metales pesados, que no se hallan en estado libre sino formando parte de las moléculas de los hidrocarburos. (Solís Aguilar, J. 2014)

- **Diésel B5**

El Diésel B5 (también denominado Gasoil o simplemente “petróleo”) se usa para carburante en motores en múltiples aplicaciones y sectores industriales. El Diésel es capaz también de suministrar la energía suficiente para mover grandes maquinarias, en virtud de su elevado poder energético, por ello su uso en todos los sectores, desde la industria hasta el transporte. Su principal característica es el número de Cetano (como en las gasolinas es el Número de Octano), que realmente es la medida de la calidad de ignición del Diésel. Es el indicativo del grado de eficiencia que tendrá la combustión en el motor, ya que cuanto más elevado es el número de Cetano, mejor es la calidad de combustión. (Matos Salinas, J. 2005)

- **Gasolina**

Es una mezcla de hidrocarburos obtenida del petróleo por destilación fraccionada, que se utiliza principalmente como combustible en motores de combustión interna, estufas, lámparas y para limpieza con solventes, entre otras aplicaciones. Su densidad es de 680 g/L¹, un 20 % menos que la del gasóleo (diésel), que es de 850 g/L. Un litro de gasolina proporciona al arder una energía de 34,78 megajulios (MJ), aproximadamente un 10 % menos que el gasóleo, que proporciona 38,65 MJ por litro. Sin embargo, en términos de masa, la gasolina proporciona un 3,5 % más de energía.

En general, se obtiene a partir de la gasolina de destilación directa, que es la fracción líquida más ligera del petróleo (exceptuando los gases). La gasolina también se obtiene a partir de la conversión de fracciones pesadas del petróleo (gasóleo de vacío) en unidades de proceso denominadas FCC (craqueo catalítico fluidizado) o hidrocraqueo. La gasolina es una mezcla de cientos de hidrocarburos individuales desde C₄ (butanos y butenos) hasta C₁₁ como, por ejemplo, el metilnaftaleno. (Matos Salinas, J. 2005)

1.2.2. Adsorción

La "adsorción" puede definirse como el proceso de acumulación de cualquier sustancia que da una mayor concentración de especies moleculares en la superficie de otra sustancia en comparación con la de la masa de donde proviene. Cuando una superficie sólida se expone a un gas o un líquido, las moléculas del gas o de la fase de solución se acumulan o se concentran en la superficie. El fenómeno de concentración de moléculas de un gas o líquido en una superficie sólida se llama adsorción. "Adsorción" es una técnica bien establecida y poderosa para el tratamiento de efluentes domésticos e industriales. Por ejemplo, en el tratamiento del agua, el método más ampliamente utilizado es la "adsorción" en la superficie del carbón activado.

La sustancia que se concentra en la superficie es llamada adsorbato. El material sobre cuya superficie se realiza la adsorción se conoce como adsorbente. El adsorbente más utilizado es el carbón activado.

Los adsorbentes se usan habitualmente en forma de gránulos esféricos, varillas, molduras o monolitos con diámetros hidrodinámicos entre 0,5 y 10 mm. Deben tener una alta resistencia a la abrasión, alta estabilidad térmica y diámetros de poro pequeños, lo que da lugar a una mayor superficie expuesta y, por tanto, una elevada capacidad superficial de adsorción. Los adsorbentes también deben tener una estructura de poros distinta que permita el transporte rápido de los vapores gaseosos.

La mayoría de adsorbentes caen en una de las tres clases:

- Los compuestos que contienen oxígeno son típicamente hidrófilos y polares, incluyendo materiales tales como gel de sílice y zeolitas.
- Los compuestos basados en carbono son típicamente hidrófobos y no polares, incluyendo materiales tales como carbón activado y grafito
- Los compuestos basados en polímeros son grupos funcionales polares o no polares en una matriz polimérica porosa

La adsorción es un fenómeno superficial en el que las partículas solubles de una solución se unen a un sustrato particular. Una de las propiedades más deseables de un adsorbente es una elevada relación superficie a volumen.

Por ejemplo, la proporción de carbón activado está en el rango de 500 a 1000 m²/g es un buen adsorbente para la eliminación eficaz de compuestos orgánicos (Ruthven, 2014).

1.2.3 Tipos de Adsorción

Existen fuerzas de atracción entre el adsorbato y el adsorbente. Estas fuerzas de atracción pueden ser debidas a fuerzas de atracción de Van der Waal que son fuerzas débiles o debido a un enlace químico que son fuertes fuerzas de atracción. Sobre la base del tipo de fuerzas de atracción existente entre adsorbato y adsorbente, la adsorción se puede clasificar en dos tipos: adsorción física o adsorción química.

1.2.3.1 Adsorción Física o Fisi-adsorción

Cuando la fuerza de atracción existente entre el adsorbato y el adsorbente son fuerzas débiles de atracción del tipo Van der Waal, el proceso se llama adsorción física o fisiadsorción. La adsorción física tiene lugar con formación de multicapa de adsorbato sobre adsorbente. Tiene baja entalpía de adsorción, es decir, ΔH de adsorción varía de 20-40KJ/mol y tiene lugar a baja temperatura por debajo del punto de ebullición del adsorbato. A medida que la temperatura aumenta, el proceso de fisiadsorción disminuye.

La adsorción física presenta las siguientes características (Ponec, Knor & Cerny, 2004):

- **Energética y cinética:** la adsorción física es un proceso exotérmico. Sin embargo, es caracterizado por valores bajos de entalpia (20 – 40 kJ/mol), debido a las débiles fuerzas de atracción de van del Waals.
- **Efecto de la temperatura:** desde que la adsorción física es un proceso exotérmico, este ocurre más fácilmente a temperaturas bajas y disminuye cuando se aumenta la temperatura (Principio de Le-Chatelier).
- **Efecto de la presión:** En el caso de la fisiadsorción de gases sobre los sólidos, el grado de adsorción aumenta con el aumento de la presión a

medida que el volumen de los gases disminuye durante la adsorción (Principio de Le-Chatelier).

- **Especificidad:** Desde que las fuerzas de Van der Waals son universales, una superficie dada de un adsorbente no demuestra ninguna preferencia por un adsorbato en la fisiadsorción, es decir no es específico respecto a un adsorbente.
- **Naturaleza del adsorbato:** Sin embargo, el grado de adsorción depende de la naturaleza del gas (adsorbato). En general, los gases fácilmente licuables (con temperaturas críticas más altas) son fácilmente adsorbidos ya que las fuerzas de Van der Waals son más fuertes, especialmente, cerca de las temperaturas críticas.
- **Área superficial del adsorbente:** El grado de adsorción aumenta con el aumento del área superficial del adsorbente. Por lo tanto, los metales finamente pulverizados y las sustancias porosas que tienen grandes superficies funcionan bien como adsorbentes.

1.2.3.2 Adsorción Química o Quimiadsorción

Cuando la fuerza de atracción que existe entre el adsorbato y el adsorbente son fuerzas químicas de atracción o enlace químico, el proceso se conoce como adsorción química o quimiadsorción. La quimisorción se realiza con formación de una monocapa de adsorbato sobre el adsorbente. Tiene una alta entalpía de adsorción. Puede realizarse a alta temperatura. Con el aumento de temperatura, la quimisorción primero aumenta y luego disminuye.

La adsorción química presenta las siguientes características (Ponec, Knor & Cerny, 2004):

- **Energética y cinética:** la adsorción química también es un proceso exotérmico y los valores de entalpía son más altos (80 – 240 kJ/mol) debido a que involucra la formación de enlaces químicos. Sin embargo, la energía de activación para la adsorción química es alta y ocurre

lentamente. Por lo tanto, también se conoce como adsorción activada. Y es prácticamente irreversible.

- **Efecto de la temperatura:** A pesar de que la adsorción química es un proceso exotérmico, ocurre lentamente a baja temperatura debido a la alta barrera de energía cinética. Por lo tanto, al igual que la mayoría de los cambios químicos, el grado de quimisorción aumenta con el aumento de la temperatura hasta cierto límite y luego después comienza a disminuir. También se observa que, en algunos casos, la fisisorción de un gas adsorbido a baja temperatura puede transformarse en quimisorción a altas temperaturas.
- **Efecto de la presión:** la adsorción química no es afectada apreciablemente por pequeños cambios en la presión. Sin embargo, presiones muy altas favorecen la adsorción química.
- **Alta Especificidad:** La quimisorción es altamente específica y sólo se produce si existe alguna posibilidad de unión química entre el adsorbente y el adsorbato.
- **Área superficial:** como la adsorción física, la adsorción química también aumenta cuando se incrementa el área superficial del adsorbente.

1.2.4 Factores que influyen en la adsorción

Según (Kovach, 2009). Refiere que la adsorción sobre sólidos está influenciada por ciertos factores como:

- ❖ Área superficial
- ❖ Naturaleza del adsorbato
- ❖ Concentración del ion hidrogeno (pH) de la solución
- ❖ Temperatura
- ❖ Solutos presentes en la mezcla
- ❖ Naturaleza del adsorbente

Área Superficial: La adsorción es un fenómeno superficial y, como tal, el grado de adsorción es proporcional a la superficie específica. El área superficial específica puede definirse como esa porción de la superficie total que está disponible para la adsorción. Por lo tanto, la cantidad de adsorción lograda por unidad de peso de adsorbente sólido es mayor, si el sólido está más finamente dividido y más poroso.

Naturaleza del adsorbato: La adsorción aumenta con la disminución de la solubilidad del disolvente. Mayor solubilidad, más fuerte el soluto-disolvente. La solubilidad del soluto es, en gran medida, un factor de control para el equilibrio de adsorción. La regla Landelius establece que se puede prever una relación inversa entre el grado de adsorción de un soluto y su solubilidad en el disolvente del que se produce la adsorción. La adsorción aumenta con la disminución de la solubilidad del disolvente. Mayor la solubilidad, más fuerte el enlace solvente-disolvente y menor el grado de adsorción.

Concentración del ion hidrógeno: El pH de una solución en la cual ocurre la adsorción influye en el grado de adsorción. Debido, los iones de hidrógeno e hidróxido son absorbidos muy fuertemente, la adsorción de otros iones está influenciada por el pH de la solución. La mayoría de los materiales coloreados encontrados con la industria están cargados negativamente y ordinariamente los carbonos darán una mayor decoloración con aumento de la acidez de la solución, el pH del propio adsorbente es un factor importante, ya que esto puede afectar al pH del líquido.

Temperatura: La extracción de metales pesados suele ser mayor a mayor temperatura. Los efectos de la temperatura sobre los equilibrios de adsorción generalmente no son significativos en el rango de temperatura prácticamente encontrado en agua y aguas residuales. Así, pequeñas variaciones de temperatura no alteran el proceso de adsorción en ninguna extensión significativa.

Solutos presentes en la mezcla: En la aplicación de la adsorción para la purificación de aguas y aguas residuales, el material que se adsorbe comúnmente será mezcla de muchos compuestos en lugar de uno solo. Los compuestos pueden mutuamente aumentar la adsorción, pueden actuar relativamente uno solo. Los compuestos pueden aumentar mutuamente la adsorción, pueden actuar con relativa independencia o pueden interferir entre sí. En solutos mixtos, cada soluto se completa de alguna manera con la adsorción del otro. El grado de inhibición mutua de la competencia debe estar relacionado con el tamaño relativo de las moléculas que se adsorben, con las afinidades de adsorción relativas y las concentraciones relativas de los solutos. La presencia de los otros solutos en la mezcla afecta negativamente a las adsorciones de la primera, lo que conduce a un avance mucho más rápido de este material.

Naturaleza del adsorbente: la naturaleza fisicoquímica del adsorbente puede tener profundos efectos tanto en la velocidad y capacidad de adsorción.

1.2.5 Clasificación de los materiales adsorbentes

De acuerdo con el método ASTM F726-06 (ASTM, 2006) los materiales adsorbentes se pueden clasificar con base en su forma física, de la siguiente manera:

Material adsorbente Tipo I

Se presenta en rollos, películas, hojas, mantas, tejidos o placas. Es un material con la longitud y anchura mayor que el espesor y que tiene, tanto la forma lineal y resistencia suficiente, para manipularse ya sea saturado o no saturado.

Material adsorbente Tipo II (suelos o a granel)

Un material no consolidado, en partículas sin forma ni resistencia, que puede ser manipulado con palas y/o equipos dispersantes.

Material adsorbente Tipo III (contenidos)

Material adsorbente contenido por un tejido o red exterior que tiene permeabilidad al hidrocarburo, pero con aberturas lo suficientemente pequeñas para retener sustancialmente el material adsorbente dentro del textil o red.

Material Tipo IV (Unidades aglomeradas)

Es un ensamble de hilos, redes abiertas u otras formas físicas, dadas a una estructura abierta que mínimamente impide la intrusión en sí misma de aceites de alta viscosidad. Son utilizados normalmente para aceites o hidrocarburos que presentan viscosidades del orden de 10 000 cp.

En la Tabla 1. Se presentan algunos ejemplos de cada material sorbente.

Tabla 1

Clasificación de materiales adsorbentes de acuerdo con el método ASTM F726-06 (ASTM, 2006).

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	Pompones

Nota. Recuperado de “Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents. Active Standard ASTM F726-06 Developed by Subcommittee F20.22. Book of Standards. Volume: 11.05

1.2.6 Materiales adsorbentes para hidrocarburos derivados del petróleo

Los adsorbentes utilizados para las separaciones de petróleo crudo o sus derivados de los senos de agua se pueden considerar en forma general que son polímeros, materiales naturales o materiales celulósicos tratados. La mayoría de materias adsorbentes usados comercialmente son sintéticos hechos de polipropileno u poliuretano. Estos tienen buenas propiedades hidrofóbicas y oleofílicas, pero tienen la desventaja que no son biodegradables. Desde que la mayoría de productos derivados del petróleo son biodegradables, el aceite puede eliminarse, por ejemplo, mediante compostaje. Un material biodegradable con excelentes propiedades de adsorción sería ventajoso a este respecto. Se ha estudiado un número de sorbentes naturales para su uso en la limpieza de derrames de petróleo, como por ejemplo algodón, lana, corcho y paja de arroz.

Una amplia variedad de sorbentes naturales como paja de arroz, tuza del maíz, musgo de turba, algodón, hilo de algodoncillo, kapok, kenaf y fibras de lana se han empleado como sorbentes en la limpieza de derrames de petróleo. Estos adsorbentes naturales tienen las ventajas de ser económicos y ser biodegradables, pero también tienen la desventaja de una baja flotabilidad, capacidad de adsorción relativamente baja y baja hidrofobicidad. Sin embargo, también se ha demostrado que es posible que algunos adsorbentes naturales adsorban mucho más petróleo que incluso los materiales de polipropileno que se usan comercialmente. Por ejemplo, Kobayashi *et al*, informo previamente que la adsorción de petróleo de la fibra celulósica de kapok usada en forma de estera, era aproximadamente 1,5 a 2,0 veces mayor que una estera similar de polipropileno (Kamel & Sakhawy, 2011).

- **Fibra de Coco**

La fibra de coco es un sustrato obtenido a partir de los residuos que genera el coco, es un producto ecológico, dada que su extracción no requiere ningún impacto medioambiental, Tiene una enorme capacidad de retención de agua, Ph entre 5.5 y 6.5, lo ideal para la mayoría de los cultivos, Al ser una materia esponjosa se airea con facilidad y esto evita enfermedades, hongos y otras plagas, aparte de oxigenar las raíces.

1.2.7. Isotermas de Adsorción

El proceso de adsorción se estudia generalmente a través de gráficos conocidos como isoterma de adsorción. La adsorción es la cantidad de adsorbato sobre el adsorbente como una función de su presión o concentración a temperatura constante. La cantidad adsorbida es casi siempre normalizada por la masa del adsorbente para permitir la comparación de diferentes materiales. De lo anterior podemos predecir que después de la presión o concentración de saturación (P_s o C_s), la adsorción no ocurre más, es decir hay un número limitado de vacantes en la superficie del adsorbente. A alta presión se alcanza una etapa cuando todos los sitios están ocupados y un aumento adicional de la presión no causa ninguna diferencia en el proceso de adsorción. A alta presión, la adsorción es independiente de la presión.

1.2.7.1 Tipos de isotermas de adsorción

- **Isoterma de adsorción Tipo II**

La isoterma de adsorción de tipo II muestra una gran desviación del modelo de Langmuir de adsorción. La región plana intermedia en la isoterma corresponde a la formación de monocapa. Es decir, el proceso comienza con formación de una monocapa y luego el proceso continuo con adsorción en multicapas. Ejemplos de adsorción de tipo II son N_2 (g) adsorbido a $1950^\circ C$ sobre catalizador de hierro (Fe) y N_2 (g) adsorbido a $1950^\circ C$ sobre gel de sílice. Es un perfil frecuente en procesos de adsorción física en los cuales las interacciones son poco específicas. Para que se produzca este tipo de comportamiento es necesario que la afinidad del adsorbato por el adsorbente sea algo mayor que la afinidad del adsorbato por sí mismo.

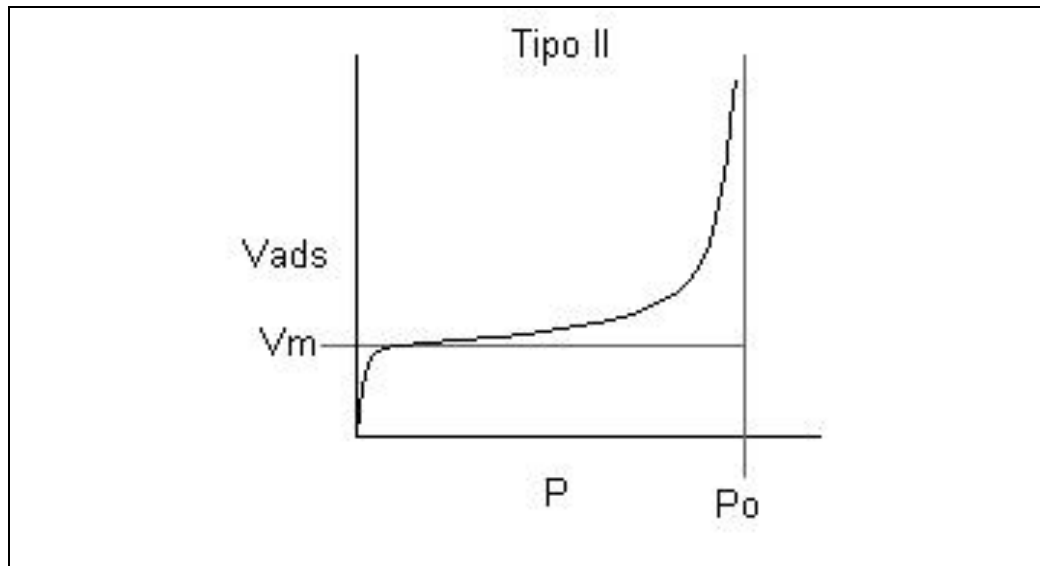


Figura 1. Isoterma de adsorción tipo II, Recuperado de [“http://www.chemistrylearning.com/adsorption-isotherm/”](http://www.chemistrylearning.com/adsorption-isotherm/)

Este tipo de isoterma se puede ajustar a la ecuación llamada BET, desarrollada por Brunauer, Emmett y Teller. La forma de la ecuación es como sigue:

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1) P}{V_m C P_0}$$

donde:

P₀: es la presión de vapor de saturación

V_m: es la capacidad de monocapa

C: aprox. igual a $\exp[-((\Delta)H_{ads} - (\Delta)H_{liq})/RT]$

La isoterma BET es una extensión del argumento de Langmuir:

- ✓ La primera capa obedece a un calor de adsorción $(\Delta)H_{ads}$
- ✓ Las capas posteriores a la primera tienen un calor de adsorción igual al calor de licuefacción, $(\Delta)H_{liq}$

- **Isoterma de adsorción Tipo III**

En la región de menor presión del gráfico es bastante similar al Tipo II. Esto explica la formación de monocapa seguida de multicapa. La región plana intermedia en la isoterma corresponde a la formación de monocapa. El nivel de saturación alcanza a una presión por debajo de la presión de vapor de saturación. Esto puede explicarse sobre la base de la posibilidad de que los gases se condensen en los diminutos poros capilares del adsorbente a presión por debajo de la presión de saturación (PS) del gas.

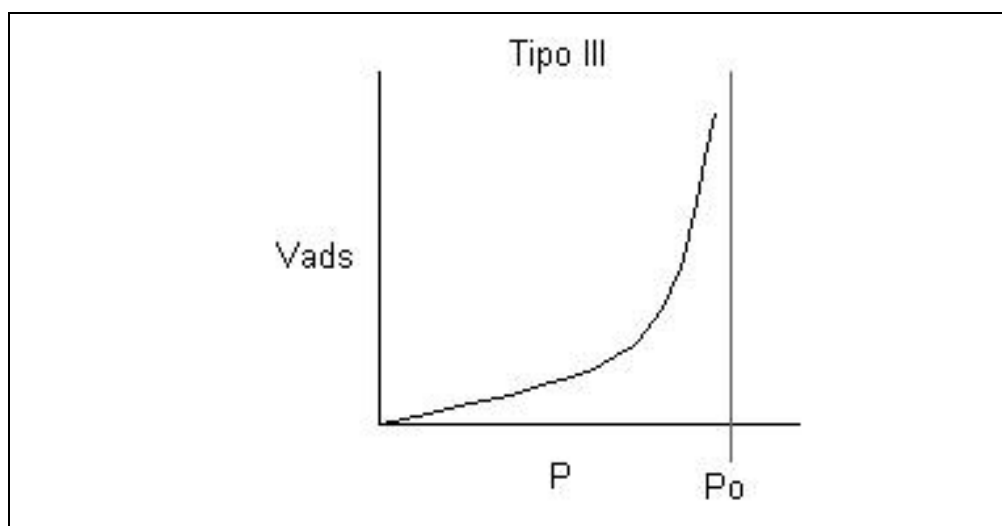


Figura 2. Isoterma de adsorción Tipo III. Recuperado de [“http://www.chemistrylearning.com/adsorption-isotherm/”](http://www.chemistrylearning.com/adsorption-isotherm/)

El adsorbato tiene aproximadamente la misma afinidad por el adsorbente y por sí mismo, o es ligeramente más afín a sí mismo que al adsorbente, por lo cual es una vez que se ha adsorbido una molécula ésta actúa también como sitio libre para que otra molécula se adsorba. Esto conduce a un recubrimiento desigual, con partes limpias, partes cubiertas con monocapa y partes cubiertas con multicapa. Ejemplos de isotermas de adsorción de tipo III son la adsorción de benceno sobre óxido de hierro (Fe_2O_3) a $500\text{ }^\circ\text{C}$ y adsorción de benceno sobre gel de sílice a $500\text{ }^\circ\text{C}$.

1.2.8. Fibra de coco adsorbente

La fibra de coco (*Cocos nucifera*) se obtiene de la cascara, la cual previamente se tiene que secar al sol para luego ser cortado, molido y tamizado para utilizar la parte más fina. Después de molienda, se lava con agua destilada para eliminar cualquier material soluble que se encuentre presente y pueda interferir en el proceso de adsorción y se seca en estufa a 105°C.

Teniendo en cuenta que la eficiencia de adsorción depende de la superficie activa del adsorbente y este está en relación directa al tamaño de la partícula. Se recomienda un tamaño que varía entre 0.41 mm hasta cerca de 0.074 mm, con una concentración de biomasa de cerca de 5 g/dm³ (Huamán y Torem, 2008).

Aproximadamente de un coco se puede obtener 127 gramos de fibra, constituido por pelos y polvo. Algunas características físicas de la fibra de coco son (Agromàtica, 2017):

- ✓ pH: 5,5 a 6,5
- ✓ conductividad eléctrica: < 0,8 mS/cm
- ✓ capacidad de intercambio catiónico: 70 – 100 meq/100 g
- ✓ capacidad de retención de agua: 25 – 50%.
- ✓ relación C/N: 80:1
- ✓ Contenido de celulosa: 23 - 43%
- ✓ Contenido de hemicelulosa: 3 – 12%
- ✓ Contenido de lignina: 35 – 45%

Tiene un índice de bioestabilidad de 100%, a diferencia de la paja de trigo que alcanza un índice de bioestabilidad de 38%. Traducido en tiempo tienen un largo periodo de degradación biológica, cercano a 250 días. Su alto contenido de lignina le da características hidrofóbicas y sería recomendable para ser un sustrato para adsorción de hidrocarburos de petróleo (Díaz, 2010).

El proceso industrial del desecho del tejido del mesocarpio o cáscara del fruto del coco (*Cocos nucifera* L.) permite obtener fibras largas, cortas y polvo; las primeras se utilizan para hacer cuerdas y colchones, entre otros usos; las

fracciones restantes, que pueden ser o no tamizadas para separar fibras de longitud media, dan lugar al polvo y fibras cortas; éste es el material que se emplea como sustrato y se conoce como polvo de coco.

El polvo de coco se considera un material alternativo a la turba, tanto por razones ambientales como por presentar buenas características físicas y químicas (elevada capacidad de intercambio catiónico) relacionadas directamente con la granulometría del material. Su principal problema es la salinidad y heterogeneidad atribuidas al proceso de molienda o desfibrado de la cáscara y al origen de ésta. En México, el desfibrado o molienda de la cáscara de coco se realiza por dos métodos, en húmedo y en seco; en el primero las cáscaras se someten a un remojo previo antes de la extracción de fibras, mientras que en el segundo las cáscaras secas se procesan directamente (Noguera *et al.*, 2003).

1.3. CONCEPTOS BASICOS

Adsorbato: sustancia que se pega (adsorbe) en la superficie. En esta investigación los hidrocarburos del petróleo.

Adsorbente: superficie sobre la que sucede la adsorción. En esta investigación la fibra de coco.

Isoterma de adsorción: es la relación general entre la cantidad de material adsorbido por un sólido, a temperatura constante como función de la presión o concentración del material adsorbido, y la presión o concentración del material adsorbido a temperatura constante.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. POBLACIÓN:

Se empleó 3 litros de emulsiones sintéticas de tres hidrocarburos (gasolina 84 octanos, kerosene o diésel B5) en agua. La concentración que se va utilizar será de 10% en volumen del hidrocarburo y 90% de agua.

2.2 UNIDAD DE MUESTREO O ANÁLISIS:

Se trabajó con 100 mL de emulsión de hidrocarburo en agua 10% hidrocarburo y 90% de agua, son tres hidrocarburos (Diésel B5, Gasolina 84oc, Kerosene), a diferentes temperaturas (30°C, 50°C, 70°C).

2.3 VARIABLES

2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTES:

Salinidad y temperatura en diferentes muestras de hidrocarburo – agua.

2.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

Efectividad de adsorción de la fibra de coco.

2.4 HIPÓTESIS:

Se asume que la salinidad y temperatura, tanto en forma individual y combinada tienen un efecto significativo sobre la efectividad de adsorción de la fibra de coco utilizando diferentes hidrocarburos de petróleo contaminantes del agua.

2.5 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Durante la experimentación se pudo observar y comprobar los efectos de salinidad y temperatura sobre la efectividad de adsorción de la fibra de coco en diversas muestras de hidrocarburos, empleándose 27 muestras en total para las siguientes condiciones (30, 50, 70°C) en temperatura y (300,900,1500 mg NaCl/litro) concentración de salinidad.

Tabla 2

Diseño de factorial 3x3

	T	T1	T2	T3
S				
S1		T1 – S1	T2 – S1	T3 – S1
S2		T1 – S2	T2 – S2	T3 – S2
S3		T1 – S3	T2 – S3	T3 – S3

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Variable Independiente: T

Temperatura de la solución

T1: 30 °C

T2: 50 °C

T3: 70 °C

Variable Independiente: S

Salinidad

S1: 300 mg NaCl/L

S2: 900 mg NaCl/L

S3: 1500 mg NaCl/L

2.6. EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO

Balanza analítica: con capacidad de 0 a 100 g. Precisión 0.001 g

Termómetro: rango de medición, 0 a 120°C, precisión 0.1°C

Malla filtrante: Tamiz 5 mm

Hidrocarburos: Gasolina de 84 octanos, Kerosene comercial y Diésel B5

Probetas: de 10, 100 y 1000 ml

Cronómetro: con precisión de milisegundos

Secador de bandejas: con control de temperatura

Cernidor: con malla N° 18 (U.S. STD. Sieve), abertura 0.0394 pulg.

Conductímetro: Boeco Germany, M: CT600

Equipo de baño maría: con regulación de temperatura,

Reactivos: NaCl (grado comercial)

2.7 PROCEDIMIENTO

2.7.1 Acondicionamiento de Fibra de coco

Se retiró la fibra de la cascara de coco hasta obtener 2 kg en bruto. Luego se realizó tres lavados consecutivos con agua destilada y se procedió a un secado a 101°C durante 2 horas, procediéndose después a una triturado. Finalmente se obtuvo la fibra en forma hebras en tamaños que variaban de 2 a 3 cm de largo.

2.7.2 Capacidad de captación de agua de la fibra de coco

Para determinar la capacidad neta de adsorción de hidrocarburos de la fibra de coco, se realizó primero una prueba por triplicado de la capacidad de adsorción de agua por la fibra de coco acondicionada. Para este propósito se utilizó el método modificado propuesto por Zambrano *et al* (2001), donde se colocaron 1.0 g de muestra en probeta con tapón, se adicionaron 10 mL de agua destilada y se agito por un periodo de 15 minutos, posteriormente se filtró el agua sobre una malla y se dejó escurriendo por un periodo de 30 segundos. El resultado se reporta como g de agua por gramo de muestra seca y se calculó con la siguiente ecuación.

$$CAA = P2 - P1 \frac{(g \text{ de Agua})}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde:

P2: peso de muestra después de ser sumergido en agua y luego escurrido

P1: p eso de muestra de fibra de coco seco.

2.7.3 Preparación y acondicionamiento de las muestras de ensayo

Se preparó tres litros de emulsión de cada hidrocarburo ensayado: gasolina, diésel y querosene. Las mezclas tuvieron una concentración de 10% en volumen de hidrocarburo y 90% de agua destilada. Como agente emulsionante se empleó lecitina de soya.

Para cada ensayo se acondiciono 100 ml de muestra a las temperaturas y concentración de NaCl ensayadas. Se consideraron tres temperaturas: T1: 30°C, T2: 50°C y T3: 70 °C; y tres concentraciones de NaCl: S1: 300 mg NaCl/litro, S2: 900 mg NaCl/litro, y S3: 1500 mg NaCl/litro. Las nueve combinaciones ensayadas fueron las siguientes:

T1 – S1	T2 – S1	T3 – S1
T1 – S2	T2 – S2	T3 – S2
T1 – S3	T2 – S3	T3 – S3

Cada combinación se repitió tres veces con lo cual se obtuvo un promedio para cada una. La temperatura se controló en equipo de baño maría, con regulación de temperatura.

2.7.4 Capacidad de Adsorción de hidrocarburos de la fibra de coco

La capacidad de adsorción de los tres hidrocarburos (gasolina, diésel y kerosene) fue evaluada adaptando la norma ASTM F-726 y el protocolo canadiense “Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program” (SAIC, 1999). El procedimiento, conocido como prueba rápida, se realizó en condiciones estáticas. La muestra de 100 ml de emulsión de hidrocarburo en agua previamente acondicionada respecto a temperatura y concentración de NaCl, se colocó en un matraz de 150 mL. Se empleó 1 gr. de fibra de coco dentro de una malla previamente pesada y colocó en el fondo de un matraz por un tiempo de 15 minutos, luego se retiró del matraz dejando escurrir la malla por un lapso de 30 segundos (para hidrocarburos pesados se dejó escurrir 2 minutos). El material sorbente se transfirió a la bandeja de la balanza determinándose el peso de sorbente con el material adsorbido.

La fórmula que se empleó para determinar la capacidad de adsorción de la fibra de coco para cada hidrocarburo fue la siguiente:

$$C_{ads} = \frac{P_T - P_A - P_S}{P_S} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Donde:

P_T: Peso total del adsorbente con hidrocarburo y agua

P_A: peso del agua adsorbida (ítem 3.3.2)

P_S: Peso inicial de la fibra de coco antes del proceso de adsorción.

2.7.5 Eficiencia de adsorción

Para determinar la eficiencia de adsorción en porcentaje se utilizó la siguiente formula:

$$Ef = \frac{Pha}{Phi} * 100 \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde:

Pha: peso de hidrocarburo adsorbido por la fibra de coco

Phi: peso inicial de hidrocarburo, volumen x densidad

2.7.6 Isotermas de Adsorción

Para construir las isotermas de adsorción, se escogió la temperatura que produjo los mejores resultados para cada uno de los hidrocarburos. Las pruebas fueron semejantes a lo explicado en el ítem 2.3.4, pero la capacidad de adsorción (g de hidrocarburo/g de sorbente) se tomó en intervalos de tiempo de 5 minutos hasta un total de 30 minutos.

Para determinar que isoterma se ajusta a los valores experimentales se ensayó los modelos de isotermas de Langmuir y Freundlich. Para los tres hidrocarburos se escogio la que mayor correlacion (R) produjo.

Para la isoterma de Langmuir se realizó en Excel una representación lineal de $1/q_e$ vs. $1/C_e$, en base a la ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{b \cdot q_m} + \left(\frac{1}{C_e}\right) + \frac{1}{q_m} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Donde:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} \left(\frac{1}{C_e}\right) + \frac{1}{b \cdot q_m} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

- **q_e**: Cantidad de hidrocarburo adsorbido ($\frac{mg}{g \text{ fibra de coco}}$).
- **q_m**: Capacidad máxima que puede ser absorbido ($\frac{mg}{g}$).
- **b** es la constante de Langmuir en el equilibrio ($\frac{l}{mg}$).

Para la isoterma de Freundlich se realizó en Excel una representación potencial de q_e vs C_e , en base a la ecuación (2.4):

$$Q_e = K_f C_e^{1/n} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

La forma lineal de la ecuación de Freundlich puede ser escrita como:

$$\text{Log } Q_e = \text{log } K_f + \frac{1}{n} \text{Log } C_e \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Donde:

- **C_e**: Concentración del adsorbato (Hidrocarburo)
- **n**: Parámetro empírico relacionado a la intensidad de adsorción.
- **K_f**: Constante de adsorción Freundlich y se relaciona con la capacidad de adsorción de la fibra de coco.
- **Q_e**: Cantidad de hidrocarburo adsorbido ($\frac{m}{g \text{ fibra de coco}}$)

III. RESULTADOS

En esta sección se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de adsorción de tres hidrocarburos (kerosene, diésel y gasolina) a tres temperaturas (30, 50 y 70°C) y tres concentraciones de NaCl (300, 900 y 1500 mg NaCl por litro de emulsión).

En la siguiente tabla se resume las principales características técnicas de los hidrocarburos utilizados.

Tabla 3
Propiedades físicas de los hidrocarburos utilizados

	Gasolina 84	Diésel B5	Kerosene
Densidad, gr/Litro	0.737	0.835	0.819
Viscosidad cinemática, cSt	0.46 – 0.71	1.7 – 4.1	1.0 – 1.9
Punto de inflamación, °C	-46	52	38, mínimo

Nota. Recuperado de https://www.engineersedge.com/fluid_flow/kinematic-viscosity-table.htm

En la Tabla 4 se presenta los datos de la capacidad de captación de agua por la fibra de coco.

Tabla 4
Capacidad de captación de agua por la fibra de coco a temperatura ambiental (25°C)

SALINIDAD mg NaCl/litro de emulsión	Peso de malla y adsorbente después de sumergido en agua	Peso de malla sola	Capacidad de captación de agua en fibra de coco
300	7.90	2.37	5.53
900	7.43	1.85	5.58
1500	7.92	2.34	5.55
	PROMEDIO		5.553

Nota. Elaboración propia

Las Tabla 5 y 6 se presentan los resultados de capacidad de adsorción de la fibra de coco del kerosene, los datos obtenidos mediante la fórmula de la Ecuación (2.2) dieron los valores más altos que se encuentra con la combinación de 50°C y 1500 mg NaCl/L, dando valores de 7.693 gr de kerosene por gramo de fibra de coco y una eficiencia de 93.936%.

Tabla 5

Efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de kerosene con fibra de coco (gr de kerosene/g de fibra de coco)

	T1: 30°C	T2: 50°C	T3:70°C
Temperatura			
Salinidad			
300 mg NaCl/L	4.256	6.533	5.656
900 mg NaCl/L	5.116	7.313	5.980
1500 mg NaCl/L	5.850	7.693	6.297

Nota. Elaboración propia

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos mediante la fórmula de la ecuación (2.3).

Tabla 6

Efecto de la temperatura y salinidad sobre la eficiencia de adsorción de kerosene con fibra de coco, %.

	T1: 30°C	T2: 50°C	T3:70°C
Temperatura			
Salinidad			
300 mg NaCl/L	51.974	79.772	56.858
900 mg NaCl/L	62.475	89.296	73.016
1500 mg NaCl/L	71.428	93.936	76.936

Nota. Elaboración propia

La Tabla 7 presenta el resultado del análisis factorial de varianza del efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de kerosene con fibra de coco. En el efecto de solo la temperatura se nota un valor máximo para las tres salinidades ensayadas. En cambio, para solamente la salinidad el efecto es creciente, es decir conforme aumenta la salinidad hay un aumento de la capacidad de adsorción. El análisis estadístico se realizó con el software IBM SPSS Statistic 21.

Tabla 7

Análisis factorial de varianza del Efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de kerosene con fibra de coco.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CAPACIDAD DE ADSORCION DE KEROSENE

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	31,804 ^a	8	3,976	96,876	,000
Intersección	961,111	1	961,111	23420,56	,000
				7	
TEMPERATURA	21,349	2	10,674	260,114	,000
SALINIDAD	10,043	2	5,021	122,359	,000
TEMPERATURA * SALINIDAD	,413	4	,103	2,516	,078
Error	,739	18	,041		
Total	993,654	27			
Total corregida	32,543	26			

Nota. $R^2 = 0.977$, corregida $R = 0.967$. Adaptado del PROGRAMA IBM-SPSS V.

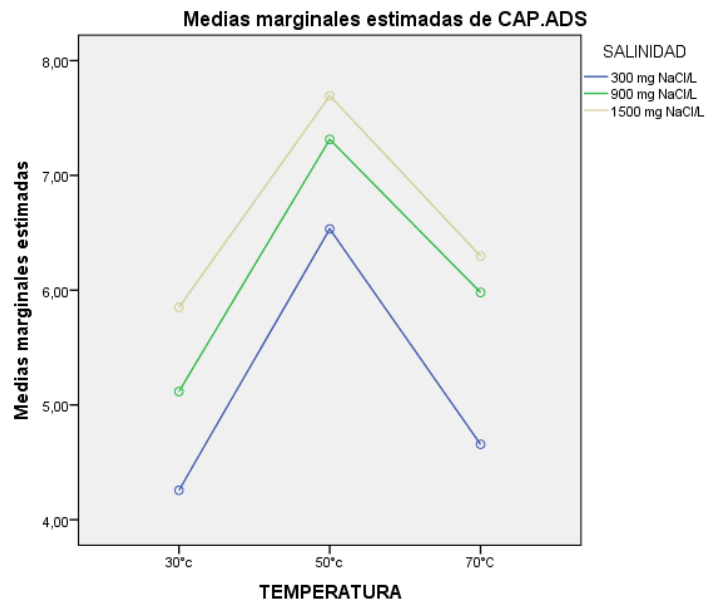


Grafico1. Efecto de la temperatura sobre la capacidad de adsorción de kerosene por fibra de coco a diferentes salinidades de la emulsión kerosene en agua. Tomado del PROGRAMA IBM-SPSS V.

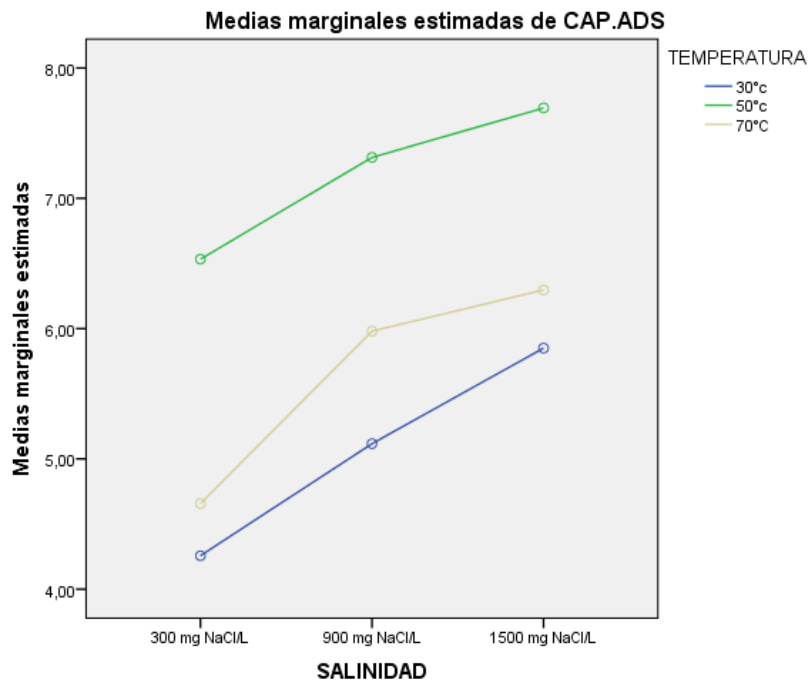


Grafico2. Efecto de la salinidad sobre la capacidad de adsorción de kerosene por fibra de coco a diferentes temperaturas de la emulsión kerosene en agua. Tomado del PROGRAMA IBM-SPSS V.

Las Tabla 8 y 9 se presentan los resultados de capacidad de adsorción de la fibra de coco del diésel B5, los datos obtenidos mediante la fórmula de la Ecuación (2.2) dieron los valores más altos que se encuentra con la combinación de 50°C y 1500 mg NaCl/L, dando valores de 8.247 gr de diésel B5 por gramo de fibra de coco y una eficiencia de 98.762%.

Tabla 8

Efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de diésel B5 con fibra de coco (gr de diésel B5/g de fibra de coco)

		T1: 30°C	T2: 50°C	T3:70°C
Salinidad	Temperatura			
	300 mg NaCl/L		4.783	7.360
900 mg NaCl/L		5.600	7.820	6.287
1500 mg NaCl/L		6.247	8.247	7.113

Nota. Elaborado por los autores

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos mediante la fórmula de la ecuación (2.3).

Tabla 9

Efecto de la temperatura y salinidad sobre la eficiencia de adsorción de diésel B5 con fibra de coco, %.

		T1: 30°C	T2: 50°C	T3:70°C
Salinidad	Temperatura			
	300 mg NaCl/L		57.285	88.144
900 mg NaCl/L		67.066	93.653	75.289
1500 mg NaCl/L		74.810	98.762	85.189

Nota. Elaborado por los autores

La Tabla 10 presenta el resultado del análisis factorial de varianza del efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción del diésel B5 con fibra de coco. En el efecto de solo la temperatura se nota un valor máximo para las tres salinidades ensayadas. En cambio, para solamente la salinidad el efecto es creciente, es decir conforme aumenta la salinidad hay un aumento de la capacidad de adsorción. El análisis estadístico se realizó con el software IBM SPSS Statistic 21.

Tabla 10

Análisis factorial de varianza del Efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de diésel B5 con fibra de coco

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CAPACIDAD DE ADSORCION DE DIESEL B5

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	30,094 ^a	8	3,762	89,023	,000
Intersección	1175,064	1	1175,064	27808,515	,000
TEMPERATURA	23,435	2	11,717	277,301	,000
SALINIDAD	6,300	2	3,150	74,548	,000
TEMPERATURA * SALINIDAD	,358	4	,090	2,121	,120
Error	,761	18	,042		
Total	1205,918	27			
Total corregida	30,854	26			

Nota. $R^2 = 0.975$, corregida $R = 0.964$. Adaptado del PROGRAMA IBM-SPSS V.

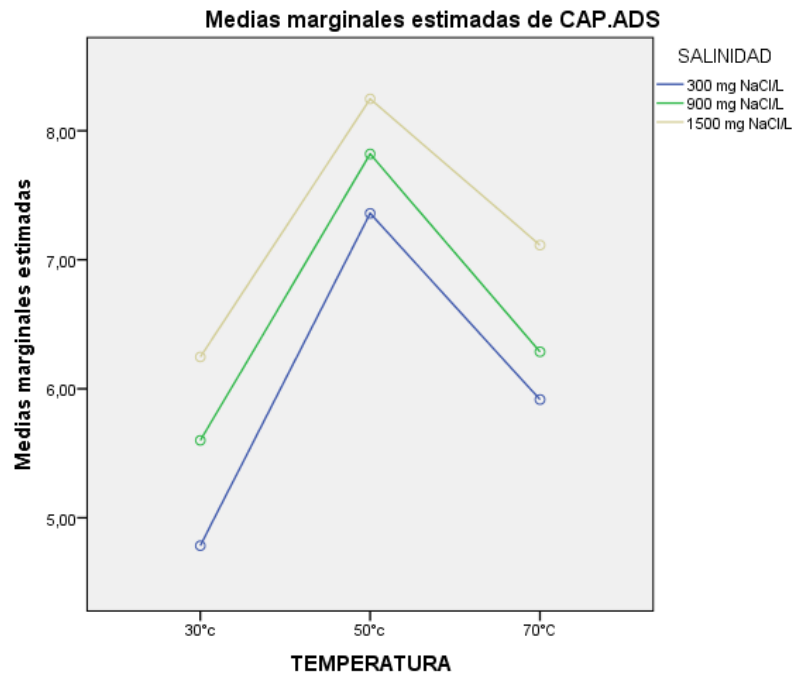


Grafico3. Efecto de la temperatura sobre la capacidad de adsorción de diésel B5 por fibra de coco a diferentes salinidades de la emulsión diésel B5 en agua. Tomado del PROGRAMA IBM-SPSS V.

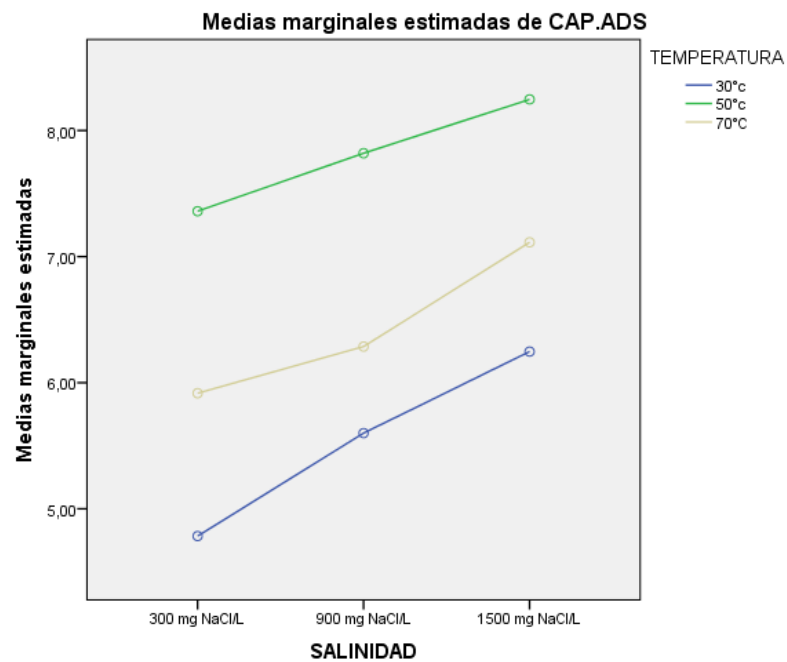


Grafico.4. Efecto de la salinidad sobre la capacidad de adsorción de diésel B5 por fibra de coco a diferentes temperaturas de la emulsión diésel B5 en agua. Nota. Tomado del PROGRAMA IBM-SPSS V.

Las Tabla 11 y 12 se presentan los resultados de capacidad de adsorción de la fibra de coco de gasolina, los datos obtenidos mediante la fórmula de la Ecuación (2.2) dieron los valores más altos que se encuentra con la combinación de 50°C y 900 mg NaCl/L, dando valores de 6.413 gr de gasolina por gramo de fibra de coco y una eficiencia de 87.019%.

Tabla 11

Efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de gasolina con fibra de coco (gr de gasolina/g de fibra de coco)

Temperatura \ Salinidad	T1: 30°C	T2: 50°C	T3:70°C
300 mg NaCl/L	3.977	6.167	4.077
900 mg NaCl/L	4.420	6.413	4.270
1500 mg NaCl/L	4.863	6.330	4.237

Nota. Elaboración propia

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos mediante la fórmula de la ecuación (2.3).

Tabla 12

Efecto de la temperatura y salinidad sobre la eficiencia de adsorción de gasolina con fibra de coco, %.

Temperatura \ Salinidad	T1: 30°C	T2: 50°C	T3:70°C
300 mg NaCl/L	53.957	83.672	55.314
900 mg NaCl/L	59.973	87.019	57.937
1500 mg NaCl/L	65.988	85.888	57.485

Nota. Elaboración propia

La Tabla 13 presenta el resultado del análisis factorial de varianza del efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de gasolina con fibra de coco. En el efecto de solo la temperatura se nota un valor máximo para las tres salinidades ensayadas. El análisis estadístico se realizó con el software IBM SPSS Statistic 21.

Tabla 13

Análisis factorial de varianza del Efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de gasolina con fibra de coco

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CAPACIDAD DE ADSORCION DE GASOLINA 84

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	25,474 ^a	8	3,184	82,826	,000
Intersección	667,620	1	667,620	17365,845	,000
TEMPERATURA	24,136	2	12,068	313,904	,000
SALINIDAD	,784	2	,392	10,193	,001
TEMPERATURA * SALINIDAD	,554	4	,139	3,603	,025
Error	,692	18	,038		
Total	693,786	27			
Total corregida	26,166	26			

Nota. $R^2 = 0.974$, corregida $R = 0.962$. Adaptado del PROGRAMA IBM-SPSS V.

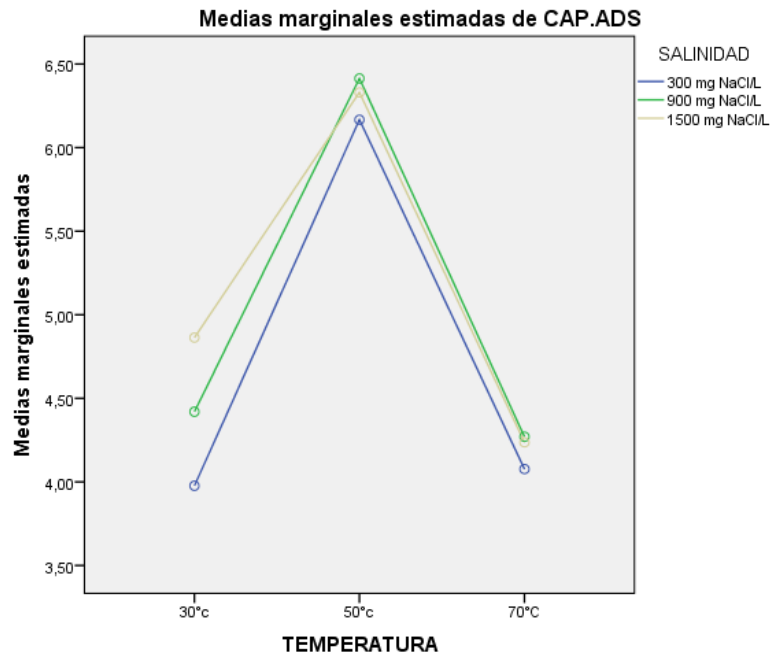


Grafico 5. Efecto de la temperatura sobre la capacidad de adsorción de gasolina por fibra de coco a diferentes salinidades de la emulsión gasolina en agua. Tomado del PROGRAMA IBM-SPSS V.

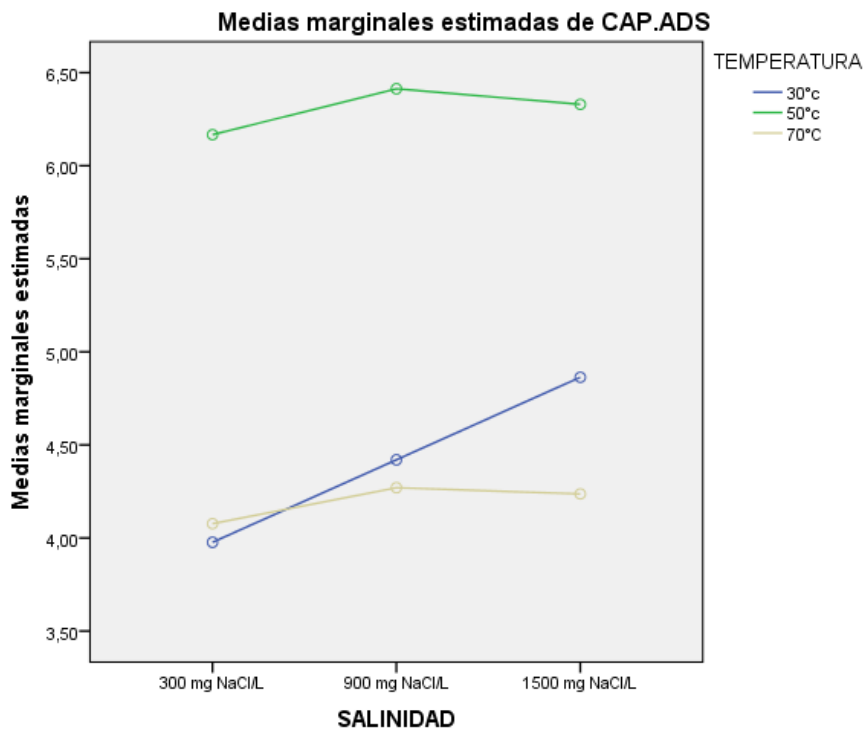


Grafico 6. Efecto de la salinidad sobre la capacidad de adsorción de gasolina por fibra de coco a diferentes temperaturas de la emulsión gasolina en agua. Tomado del PROGRAMA IBM-SPSS V.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los resultados obtenidos mediante la fórmula de la ecuación (2.2) y (2.3) donde se muestra la capacidad de adsorción de adsorción con fibra de coco en los tres hidrocarburos y el % de eficiencia

Tabla 14

Efecto de la temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de hidrocarburos con fibra de coco ($\frac{g}{g \text{ de adsorbente}}$)

	KEROSENE			DIESEL B5			GASOLINA		
	Salinidad 300mg NaCl/l	Salinidad 900mg NaCl/l	Salinidad 1500mg NaCl/l	Salinidad 300mg NaCl/l	Salinidad 900mg NaCl/l	Salinidad 1500mg NaCl/l	Salinidad 300mg NaCl/l	Salinidad 900mg NaCl/l	Salinidad 1500mg NaCl/l
T1 30°C	4.256	5.116	5.85	4.783	5.60	6.247	3.977	4.42	4.863
T2 50°C	6.533	7.313	7.693	7.36	7.82	8.247	6.167	6.413	6.33
T3 70°C	5.656	5.95	6.297	5.592	8.247	7.113	4.007	6.33	4.237
EFICIENCIA %									
T1 30°C	51.974	62.475	56.858	57.285	67.066	74.81	53.957	59.973	65.988
T2 50°C	79.772	89.296	73.016	84.144	93.653	98.762	83.672	87.019	85.888
T3 70°C	56.858	93.936	76.936	70.858	75.289	85.189	55.314	57.937	57.485

Nota. Elaboración propia

En las siguientes tablas se describen las isothermas experimentales de la capacidad de adsorción de los tres hidrocarburos (Kerosene, Diésel B5, Gasolina) los datos experimentales se construyeron en intervalos de 5 minutos hasta un total de 30 minutos.

Tabla 15

Datos experimentales de la capacidad de adsorción de Kerosene (g de hidrocarburo/g de sorbente) en intervalos de tiempo de 5 minutos hasta un total de 30 minutos.

t, min	Ce, mg	Qe, g de	1/Ce	1/Qe
	kerosene/litro de solución	kerosene/g de fibra de coco		
1	1.89474	3.89	0.527777	0.257069
5	2.21053	4.72	0.45238	0.211864
10	3.95833	5.38	0.252632	0.185874
15	8.4375	7.38	0.118519	0.135501
20	28.9691	7.81	0.03452	0.128041
25	35.7732	7.98	0.027954	0.125313
30	43.8776	8.01	0.022791	0.124844

Fuente. Elaboración propia

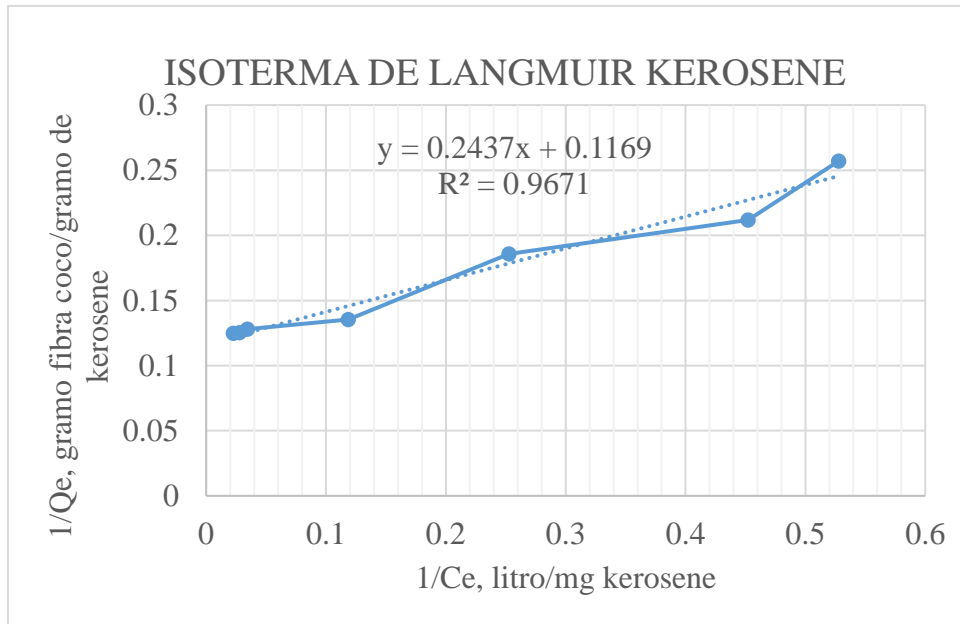


Gráfico 7. Isoterma de Langmuir para adsorción de kerosene sobre fibra de coco.

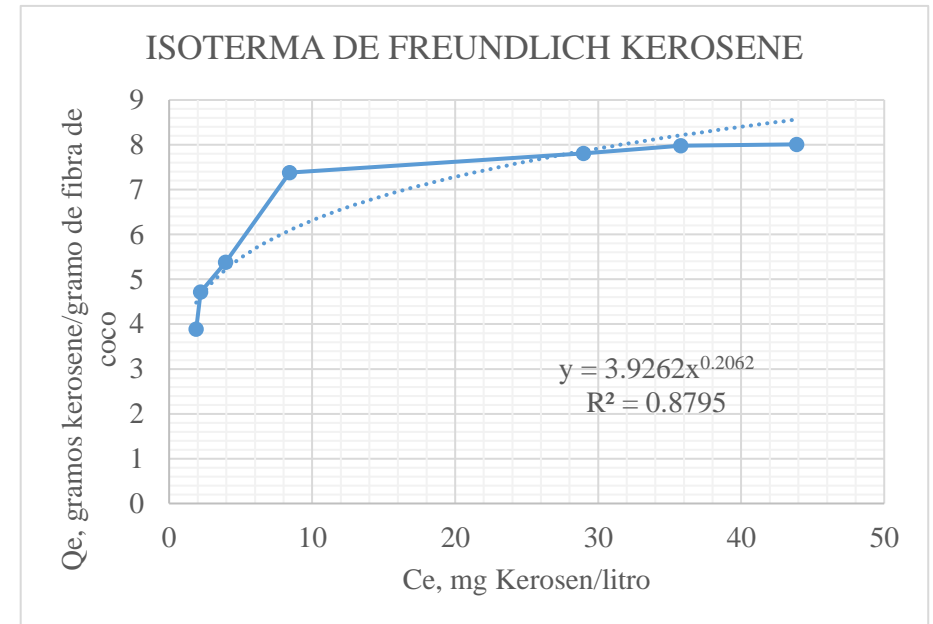


Gráfico 8. Isoterma de Freundlich, kerosene. Elaboración propia

En la evaluación de regresión se escoge la que demuestra mejor coeficiente de determinación R^2 , es decir la isoterma de Langmuir. De acuerdo a la ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{b \cdot q_m}$$

$$1/q_m = 0,1169$$

Entonces, $q_m = 8,55$ (gr de kerosene/ gr de fibra de coco)

De la gráfica: $q_m \times b = 0,2437$

Entonces: $b = 0,0285$ constante de adsorción (litro de solución/ mg de kerosene)

Tabla 16

Datos experimentales de la capacidad de adsorción del Diésel (g de hidrocarburo/g de sorbente) en intervalos de tiempo de 5 minutos hasta un total de 30 minutos.

t, min	Ce	Qe	1/Ce	1/Qe
1	0.31579	4.01	3.166661	0.249377
5	0.63158	5.65	1.583331	0.176991
10	0.8333	7.32	1.200048	0.136612
15	2.1875	8.14	0.457143	0.12285
20	10.6186	8.27	0.094174	0.120919
25	27.8351	8.29	0.035926	0.120627
30	44.2857	8.32	0.022581	0.120192

Nota. Elaboración propia.

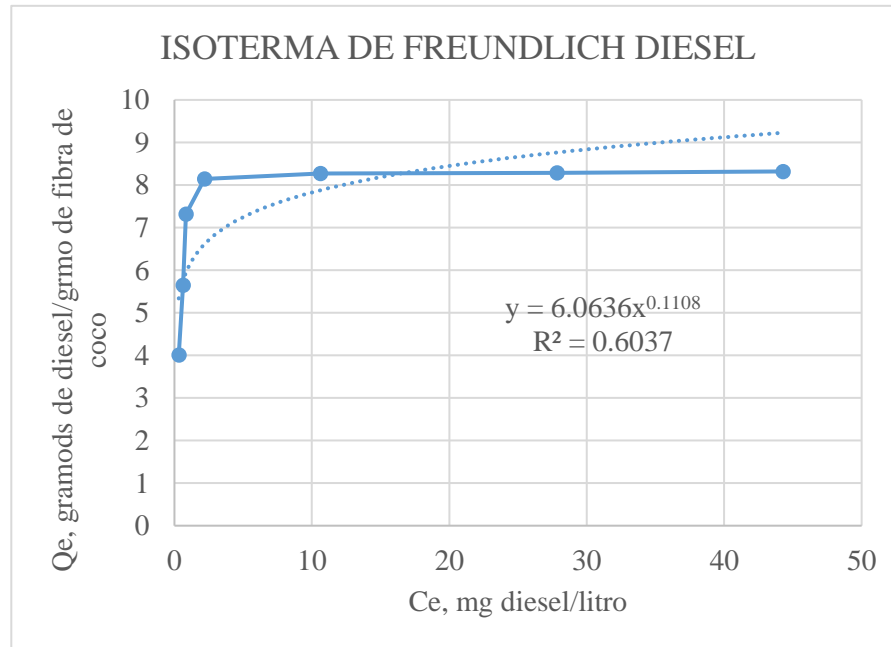


Gráfico 9. Isoterma de Freundlich. Diésel. Elaboración propia

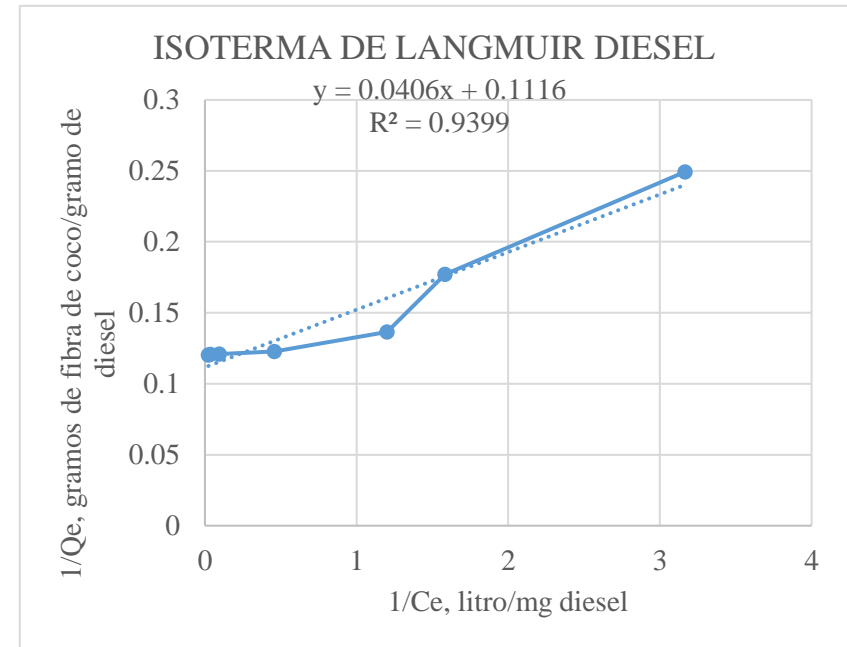


Gráfico 10. Isoterma de Langmuir Diésel. Elaboración propia

Se escoge la que demuestra mayor regresión, es decir la isoterma de Langmuir. De acuerdo a la ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{b \cdot q_m} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

$1/q_m = 0.1116$, Entonces, $q_m = 8.96$

De la gráfica: $q_m \times b = 0.0406$, Entonces: $b = 0.00453$

Tabla 17

Datos experimentales de la capacidad de adsorción de la Gasolina (g de hidrocarburo/g de sorbente) en intervalos de tiempo de 5 minutos hasta un total de 30 minutos.

T	Ce	Qe	1/Ce	1/Qe
1	0.52632	3.04	1.899985	0.328947
5	0.84211	3.44	1.187493	0.290698
10	3.22917	4.91	0.309677	0.203666
15	6.875	6.71	0.145455	0.149031
20	25.3608	7.06	0.039431	0.141643
25	40.5155	7.29	0.024682	0.137174
30	44.1837	7.32	0.022633	0.136612

Nota. Elaboración propia

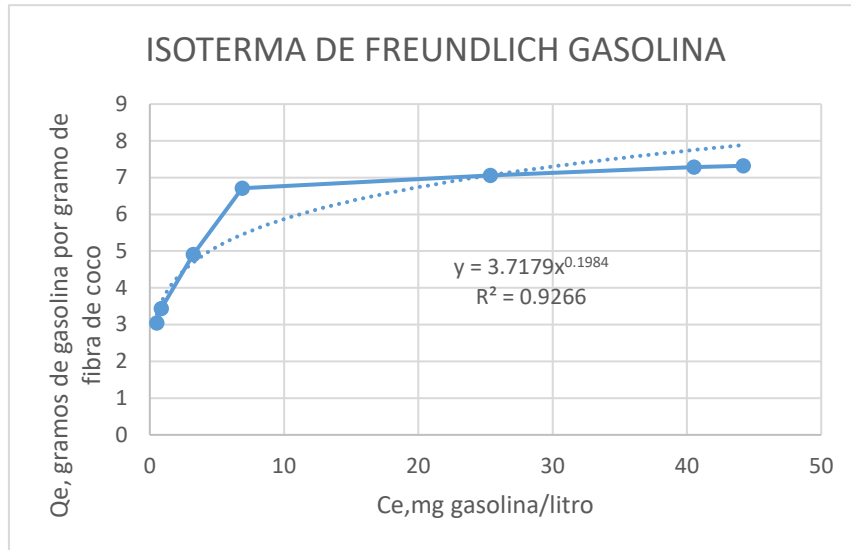


Gráfico 11. Isoterma de Freundlich. Gasolina. Elaboración propia.

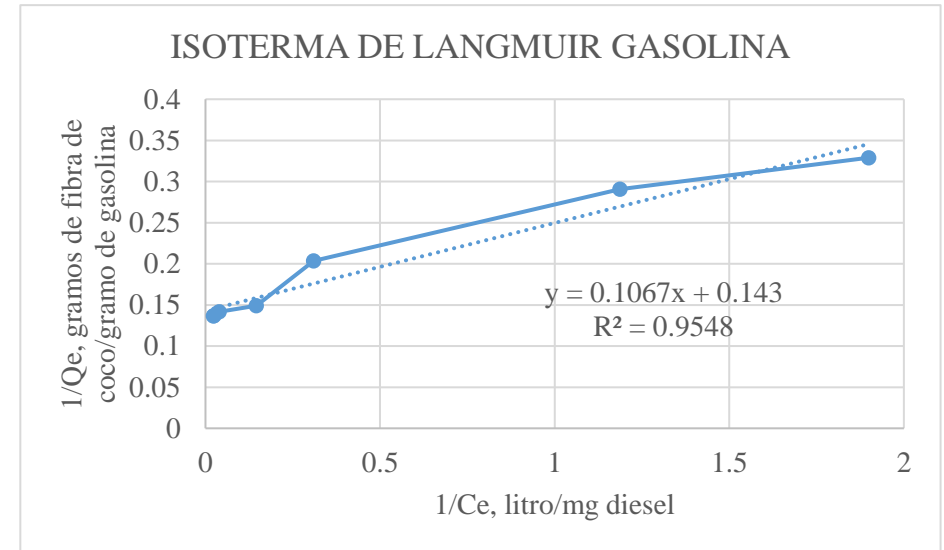


Gráfico 12. Isoterma de Langmuir. Gasolina. Elaboración propia.

Se escoge la que demuestra mayor regresión, es decir la isoterma de Langmuir. De acuerdo a la ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{b \cdot q_m} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

$1/q_m = 0.143$, Entonces, $q_m = 6.99$

De la gráfica: $q_m \times b = 0.1067$, Entonces: $b = 0.015$

Las isotermas de adsorción se construyeron a la temperatura que demostró mayor efectividad, es decir 50°C. Para los tres hidrocarburos las isotermas construidas se muestran en los Gráficos 7, 10, 12. Para los tres hidrocarburos la isoterma que dio la mayor correlación fue la de Langmuir.

IV. DISCUSION

De acuerdo a los resultados de la Tabla 4 la fibra de coco tuvo una capacidad de adsorción de agua de 5.553 gramos de agua por gramo de fibra de coco. De acuerdo a este valor encontrado se puede considerar como medianamente hidrófobo si lo comparamos con otros adsorbentes naturales como el bagazo de caña que tiene valores de adsorción de agua entre 2.14 a 9.59 gramos de agua por gramo de bagazo, según el tamaño de la partícula (Armada, Barquinero y Capote, 2008). Por lo tanto, la fibra de coco se puede considerar un material mejor que el bagazo para ser utilizado como material adsorbente de hidrocarburos.

Respecto a la adsorción de kerosene de la emulsión preparada en laboratorio (10% en volumen de kerosene y 90% en volumen de agua) utilizando la fibra de coco esta demostró un nivel de capacidad y eficiencia de adsorción de máximo 7.693 gramos de kerosene por gramo de fibra de coco y 93.936% respectivamente. Estos valores se hallaron a una temperatura de 50°C y una concentración de NaCl en la emulsión de 1500 mg/L. El valor obtenido es menor que el encontrado por Rincones Poyer *et al.* (2015) quien obtuvo una eficiencia de adsorción de kerosene de 99.8 % empleando una columna fija de bagazo de caña. La razón principal de la diferencia con la presente investigación es que los autores emplearon bagazo de caña previamente hidrofobada con tratamiento químico.

De acuerdo al análisis factorial de varianza del efecto de temperatura y salinidad sobre la capacidad de adsorción de kerosene con la fibra de coco (Tabla 7) resulto que las variables ensayadas (temperatura y salinidad) tienen efecto significativo en forma individual sobre las variables dependiente (capacidad de adsorción). Según el valor del estadístico p (0.078) no hay un efecto de la combinación de los dos factores, es decir la capacidad de adsorción no dependen directamente de la combinación de los factores. De acuerdo al valor del estadístico F, el factor que tiene mayor influencia sobre la capacidad de adsorción es la temperatura. Esto se corrobora con los gráficos 1 y.2, donde en la primera se muestra que respecto a la temperatura de 50°C hay un valor

máximo de capacidad de adsorción para las tres salinidades, en cambio para la salinidad a diferentes temperaturas la capacidad de adsorción aumenta conforme aumenta la salinidad, con un comportamiento de directamente proporcional. El efecto de la temperatura en la presente investigación es similar al encontrado por Sami (2014) quien empleando cascara de granada en polvo, tiempo de contacto de 40 minutos, pH de 9.5 y temperatura de 55°C obtuvo una eficiencia de adsorción de crudo de petróleo de 92%. El autor indica que este comportamiento con la temperatura se debería a que la caída en la tensión superficial del hidrocarburo y del agua hace aumentar la capacidad de adsorción, que en este caso fue 50°C. En cambio, deduce que una mayor disminución de la viscosidad es inversamente proporcional a la penetración del hidrocarburo dentro de la superficie interior del bioadsorbente, que en el caso de la presente investigación fue 70°C.

El mismo comportamiento hallado con el kerosene se encontró con el diésel B5 y la gasolina de 84 octanos, a excepción del efecto combinado de temperatura y salinidad, que en el caso de la gasolina (Tabla 13) si mostro un efecto significativo.

El efecto individual de la salinidad mostrada para los tres hidrocarburos (Gráficos 2, 4, 6), según Moreno (2004) se debería a la disminución de la solubilidad del hidrocarburo en el agua lo cual conduce a un aumento de captación del hidrocarburo por el material bioadsorbente. El aumento de la adsorción con la salinidad demuestra que el material ensayado puede usarse en forma efectiva en derrames de hidrocarburos en agua de mar.

La fibra de coco demostró una mayor capacidad y eficiencia de adsorción para el diésel B5, hallándose un valor máximo de 98.762% a 50°C y 900 mg NaCl/L. En cambio, para el kerosene y gasolina a la misma temperatura y salinidad fueron 93.936% y 85.888% respectivamente. Este comportamiento está relacionado según Li *et al.* (2013) a la diferencia en viscosidad, que en este caso fue mayor para el diésel B5 a las condiciones de trabajo. Con el diésel se obtuvo una capacidad de adsorción máxima de 8.247 gramos de diésel por gramo de fibra de coco. El valor obtenido es mayor que obtuvo Gonzales *et al.*, (2006) quien utilizando un material sorbente comercial de origen natural (*Sphagnum*) recomendado para aplicación de derrames tanto en suelos como en

cuerpos de agua, encontró una capacidad de adsorción de 7.88 con malla 30 (gruesa) y 5.95 para malla 80 (fino).

El modelo de isoterma que más se ajustó a los datos experimentales a 50°C fue la de Langmuir. En todos los casos el valor de b resulto muy menor que el valor de q_m . Según Nwankwere *et al.* (2015) los valores altos de q_m y valores bajos de b sugieren que la fibra de coco tiene una alta afinidad por los hidrocarburos ensayados

No se realizó ensayos de re-utilización del adsorbente, pero Gonzales *et al.* (2006) comprobó la fibra de coco se puede utilizar hasta cuatro veces, antes que el poder de adsorción disminuya en 30%.

V. CONCLUSIONES

- Se demostró el efecto de la salinidad y temperatura sobre la efectividad de la fibra de coco como material adsorbente utilizando tres emulsiones de hidrocarburo en agua: kerosene-agua, diésel B5 – agua y gasolina 84 – agua.
- Se obtuvo una capacidad de adsorción elevada comparada con un material adsorbente comercial de origen natural. Con el diésel, kerosene y gasolina se logró una capacidad de adsorción a 50°C y 1500 mg NaCl/L de 8.247, 7.693 y 6.330 gramos de hidrocarburo por gramo de fibra de coco. La diferencia estaría relacionada con la viscosidad.
- El efecto de la temperatura fue mayor que el efecto de la salinidad sobre la capacidad y eficiencia de adsorción de fibra de coco. El efecto combinado de temperatura y salinidad fue nulo, excepto para la gasolina.
- El modelo de isoterma que más se ajustó a los datos experimentales a 50°C fue la de Langmuir, dando valores de q_m y b que sugieren que existe una alta afinidad de la fibra de coco por los hidrocarburos ensayados.
- La fibra de coco de tamaño grueso resultó adecuada para la adsorción de posibles derrames de hidrocarburos en cuerpos de agua.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos de reutilización de la fibra de coco como bioadsorbente.
- Establecer una estrategia para el almacenaje temporal, transporte y/o tratamiento de los volúmenes generados de absorbentes impregnados de hidrocarburos.
- Hacer la comparación con otros adsorbentes naturales como bagazo de caña, plumas de aves de corral, y otros.
- Mejorar sus propiedades hidrófobas de la fibra de coco para permitir una mayor adsorción de hidrocarburos.
- Medir la capacidad de adsorción de la fibra de coco a diferentes tamaños de molienda.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Agouborde, L. (2008). Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales. Tesis de Maestría. Universidad de la Frontera, Temuco- Chile.
2. Agromatica (2017). Recuperado de <http://galceranmelendres.blogspot.com/>
3. Armada, A., Barquinero, E. y Capote, E. (2008). Empleo del bagazo como material absorbente en derrames de petróleo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XLII, núm. 1-3, pp. 96-100, Cuba. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120667013>
4. ASTM. (2006). Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents. Active Standard ASTM F726-06 Developed by Subcommittee F20.22. Book of Standards. Volumen: 11.05. Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/F726.htm>.
5. Behnood, R., Anvaripour, B., Fard, N. y Farasati, M. (2013). Petroleum Hydrocarbons Adsorption from Aqueous Solution by Raw Sugarcane Bagasse. Int. J. Emerg. Sci. Eng., vol. 1, no. 6, pp. 96–99. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/>
6. Díaz, S. (2010). Propiedades químicas de los sustratos y su interpretación. Primer Curso Nacional de Sustratos. Universidad De Guanajuato. Recuperado de: <http://www.cm.colpos.mx/montecillo/images/SUSTRATOS/04>.
7. El Comercio. 24 octubre del 2016. Derrames de petróleo: van 10 en el transcurso del año. Lima, Perú. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/peru/derrames-petroleo-10-transcurso-ano-274290>.

8. Gonzales, O; Andrade, F; Rodríguez, N; Montenegro, R. (2006). Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. *Revista ingeniería e investigación*, vol. 26, no.2, pp. 20-27. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/18804/1/14733-57097-1-PB>.
9. Huamán, G. & Torem. (2008). Bioadsorción de metales pesados contenidos en efluentes utilizando biomasa orgánica, en Departamento de Ciencia de los Materiales y Metalurgia, Pontificia. Universidad Católica de Rio de Janeiro. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/208790847/pcu-rio-BIOSORCION-DE-METALES-PESADOS-CONTENIDOS-EN-EFLUENTES>.
10. IMO. (2005). Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos. Parte IV: lucha contra derrames. Organización Marítima Internacional. Recuperado de: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7506>.
11. Kamel, S. & Sakhawy, M. (2011). Using of agricultura residue in removing of oil spill. *Research & Reviews in BioSciences*, 5(2), 64-70. Recuperado de: <https://dspace.aus.edu/xmlui/bitstream/handle/11073/7663/> 35.232-2014.28%20Abdul%20Sami%20Gulistan.
12. Lim, T. & Huang, X. (2016). Evaluation of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic–oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Chemosphere*. Vol. 66, Issue 5, pag. 955-963.
13. McGraw Hill. Soto, J. (2001) “Química Orgánica II: Hidrocarburos y sus derivados halógenos.”
14. Matos Salinas, J.(20005) “Detección de Adulteraciones de Combustibles de uso en el parque Automotor Peruano. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

15. Noguera P; Puchades R; Maquieira A; Noguera V. (2003). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 34:593-605. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/CSS120017842?sr=c=recsys&journalCode=lcss20>.
16. Olufemi, N., Jimoda, B., & Agbodike, L. (2014). Adsorption of Crude Oil using Meshed Corncobs, *Asian J. Appl. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 7–21. Recuperado de: http://ajase.weebly.com/uploads/1/3/4/5/13455174/6.1_7-19.
17. Ortiz, G., Andrade, F., Rodríguez, N., Montenegro, R. (2006). Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. *Ingeniería e Investigación* 26, 20- 27. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64326204>.
18. Ponec, V., Knor, Z., & Cerny, S. (2004). Adsorption on solids. Butterworth and Co., London. Chap. 14. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/000186868580004X>.
19. Ruthven, D. (2014.) *Principios de Adsorción y Procesos de Adsorción*. John Wiley & Sons, Inc. Canadá. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aic.690310335>.
20. SAIC - Science Applications International Corporation, Canadá. (1999). Sorbent Test Program. Interim Report Emergencies Engineering Technologies Office. An Employee-Owned Company. Recuperado de: <https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/osrr-oil-spill-response-research/180ae.pdf>.

21. Sami, G. (2014). Oil removal from produced water using natural materials. Master Thesis. American University of Sharjah. Sharjah, United Arab Emirates. Recuperado de: <https://dspace.aus.edu/xmlui/bitstream/handle/11073/7663/35.232-2014.28%20Abdul%20Sami%20Gulistan.pdf?sequence=1>.
22. Solis Aguilar J.(2015).Quimica para ingenierías. Intituto Korima de Puebla A.C.
23. Zambrano Z; Meléndez P; Gallardo N. (2001) Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética.: Editorial Varela. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?id=NC0YB1d6sbwC>

VIII. APENDICE

Capacidad de adsorción de Kerosene en solución salina de 300 ,900 1500 mg NaCl/litro

Tabla 18

Capacidad de adsorción de kerosene por la fibra de coco, 30°C, 50°C y 70°C; y 300 mg NaCl/litro (608 μ S/cm)

TEMPERATURA	PESO DE MALLA DESPUES DE SUMERGIDO Y ESCURRIDO	PESO DE LA MALLA CON 01 gr DE FIBRA DE COCO	PESO TOTAL ADSORBIDO	PESO NETO ADSORBIDO DE HIDROCARBURO	PROMEDIO HIDROCARBURO ADSORBIDO	EFICIENCIA DE ADSORCION, %
30	11.98	2.42	9.26	4.03		
30	12.45	2.42	10.03	4.5		
30	12.19	2.42	9.77	4.24	4.125667	51.974
50	14.43	2.3	12.13	6.6		
50	14.29	2.3	11.99	6.46		
50	14.37	2.3	12.07	6.54	6.533333	79.772
70	13.22	3.04	10.18	4.65		
70	13.27	3.04	10.23	4.7		
70	13.19	3.04	10.15	4.62	4.656667	56.858
ADSORCION EN SOLUCION SALINA	7.9	2.37	5.53			

Nota. Elaboración propia.

Tabla19

Capacidad de adsorción de kerosene por la fibra de coco, 30°C, 50°C y 70°C; y 900 mg NaCl/litro (1790 μ S/cm)

TEMPERATURA	PESO DE MALLA DESPUES DE SUMERGIDO Y ESCURRIDO	PESO DE LA MAYA CON 01 gr DE FIBRA DE COCO	PESO TOTAL ADSORBIDO	PESO NETO ADSORBIDO DE HIDROCARBURO	PROMEDIO	EFICIENCIA DE ADSORCION, %
30	13.09	2.31	10.78	5.2		
30	12.76	2.31	10.45	4.87		
					5.11666	62.47456
30	13.17	2.31	10.86	5.28	7	
50	15.22	2.23	12.99	7.41		
50	15.17	2.23	12.94	7.36		
					7.31333	89.2958
50	14.98	2.23	12.75	7.17	3	
70	13.53	2.34	11.19	5.61		
70	14.06	2.34	11.72	6.14		
70	14.11	2.34	11.77	6.19	5.98	73.0158
ADSORCION EN SOLUCION SALINA	7.43	1.85	5.58			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 20

Capacidad de adsorción de kerosene por la fibra de coco, 30°C, 50°C y 70°C; y 1500 mg NaCl/litro (2870 μ S/cm)

TEMPERATURA	PESO DE MALLA DESPUES DE SUMERGIDO Y ESCURRIDO	PESO DE LA MALLA CON 01 gr DE FIBRA DE COCO	PESO TOTAL ADSORBIDO	PESO NETO ADSORBIDO DE HIDROCARBURO	PROMEDIO	EFICIENCIA DE ADSORCION, %
30	14.02	2.4	11.62	6.07		
30	13.84	2.4	11.44	5.89		
30	13.54	2.4	11.14	5.59	5.85	71.42857
50	15.32	2.32	13.54	7.45		
50	15.86	2.32	13.54	7.99		
50	15.51	2.32	13.19	7.64	7.693333	93.93569
70	14.15	2.21	11.94	6.39		
70	14.03	2.21	11.82	6.27		
70	13.99	2.21	11.78	6.23	6.296667	76.88238
ADSORCION EN SOLUCION SALINA						
	7.89	2.34	5.55			

Nota. Elaboración propia.

Capacidad de adsorción de Diésel B5 en solución salina de 300 ,900 1500 mg NaCl/litro

Tabla 21

Capacidad de adsorción de Diésel B5 por la fibra de coco, 30°C, 50°C y 70°C; y 300 mg NaCl/litro (608 μ S/cm)

TEMPERATURA	PESO DE MALLA DESPUES DE SUMERGIDO Y ESCURRIDO	PESO DE LA MALLA CON 01 gr DE FIBRA DE COCO	PESO TOTAL ADSORBIDO	PESO NETO ADSORBIDO DE HIDROCARBURO	PROMEDIO	EFICIENCIA DE ADSORCION, %
30	12.43	2.44	9.99	4.46		
30	12.85	2.44	10.41	4.88		
					4.78333	
30	12.98	2.44	10.54	5.01	3	57.28543
50	14.85	2.01	12.84	7.31		
50	14.94	2.01	12.93	7.4		
50	14.91	2.01	12.9	7.37	7.36	88.14371
70	13.95	2.3	11.65	6.12		
70	13.43	2.3	11.13	5.6		
					5.91666	
70	13.86	2.3	11.56	6.03	7	70.85828
ADSORCION EN SOLUCION SALINA	7.9	2.37	5.53			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 22

Capacidad de adsorción de Diésel B5 por la fibra de coco, 30°C, 50°C y 70°C; y 900 mg NaCl/litro (1790 μ S/cm)

TEMPERATURA	PESO DE MALLA DESPUES DE SUMERGIDO Y ESCURRIDO	PESO DE LA MALLA CON 01 gr DE FIBRA DE COCO	PESO TOTAL ADSORBIDO	PESO NETO ADSORBIDO DE HIDROCARBURO	PROMEDIO	EFICIENCIA DE ADSORCION, %
30	13.54	2.27	11.27	5.69		
30	13.33	2.27	11.06	5.48		
30	13.48	2.27	11.21	5.63	5.6	67.06587
50	15.48	2.4	13.08	7.5		
50	16.08	2.4	13.68	8.1		
50	15.84	2.4	13.44	7.86	7.82	93.65269
70	13.98	2.35	11.63	6.05		
70	14.45	2.35	12.1	6.52		
70	14.22	2.35	11.87	6.29	6.28666 7	75.28942
ADSORCION EN SOLUCION SALINA	7.43	1.85	5.58			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 23

Capacidad de adsorción de diésel B5 por la fibra de coco, 30°C, 50°C y 70°C; y 1500 mg NaCl/litro (2870 μ S/cm)

TEMPERATURA	PESO DE MALLA DESPUES DE SUMERGIDO O Y ESCURRIDO	PESO DE LA MALLA CON 01 gr DE FIBRA DE COCO	PESO TOTAL ADSORBIDO	PESO NETO ADSORBIDO DE HIDROCARBURO	PROMEDIO	EFICIENCIA DE ADSORCION, %
30	14.83	3.08	11.75	6.2		
30	14.94	3.08	11.86	6.31		
30	14.86	3.08	11.78	6.23	6.246667	74.81038
50	16.01	2.34	13.67	8.12		
50	16.25	2.34	13.91	8.36		
50	16.15	2.34	13.81	8.26	8.246667	98.76248
70	14.59	1.85	12.74	7.19		
70	14.67	1.85	12.82	7.27		
70	14.28	1.85	12.43	6.88	7.113333	85.18962
ADSORCION EN SOLUCION SALINA	7.89	2.34	5.55			

Nota. Elaboración propia.

Capacidad de adsorción de Gasolina en solución salina de 300 ,900 1500 mg NaCl/litro

Tabla 24

Capacidad de adsorción de gasolina por la fibra de coco, 30°C, 50°C y 70°C; y 300 mg NaCl/litro (608 μ S/cm)

TEMPERATURA	PESO DE MALLA DESPUES DE SUMERGIDO O Y ESCURRIDO	PESO DE LA MALLA CON 01 gr DE FIBRA DE COCO	PESO TOTAL ADSORBIDO	PESO NETO ADSORBIDO DE HIDROCARBURO	PROMEDIO	EFICIENCIA DE ADSORCION N, %
30	11.78	2.42	9.36	3.83		
30	12.02	2.42	9.6	4.07		
30	11.98	2.42	9.56	4.03	3.976667	53.95749
50	14.1	2.3	11.8	6.27		
50	13.89	2.3	11.59	6.06		
50	14	2.3	11.7	6.17	6.166667	83.67255
70	12.36	3.04	9.32	3.79		
70	13	3.04	9.96	4.43		
70	12.58	3.04	9.54	4.01	4.076667	55.31434
ADSORCION EN SOLUCION SALINA	7.9	2.37	5.53			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 25

Capacidad de adsorción de gasolina por la fibra de coco, 30°C, 50°C y 70°C; y 900 mg NaCl/litro (1790 μ S/cm)

TEMPERATURA	PESO DE MALLA DESPUES DE SUMERGIDO Y ESCURRIDO	PESO DE LA MALLA A CON 01 gr DE FIBRA DE COCO	PESO TOTAL ADSORBIDO	PESO NETO ADSORBIDO DE HIDROCARBURO	PROMEDIO	EFICIENCIA DE ADSORCIÓN, %
30	12.24	2.42	9.82	4.24		
30	12.65	2.42	10.23	4.65		
30	12.37	2.42	9.95	4.37	4.42	59.97286
50	14.07	2.3	11.77	6.19		
50	14.25	2.3	11.95	6.37		
50	14.56	2.3	12.26	6.68	6.413333	87.01945
70	12.84	3.04	9.8	4.22		
70	13.01	3.04	9.97	4.39		
70	12.82	3.04	9.78	4.2	4.27	57.93758
ADSORCION EN SOLUCION SALINA	7.43	1.85	5.58			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 26

Capacidad de adsorción de gasolina por la fibra de coco, 30°C, 50°C y 70°C; y 1500 mg NaCl/litro (2870 μ S/cm)

TEMPERATURA	PESO DE MALLA DESPUES DE SUMERGIDO Y ESCURRIDO	PESO DE LA MALLA CON 01 gr DE FIBRA DE COCO	PESO TOTAL ADSORBIDO	PESO NETO ADSORBIDO DE HIDROCARBURO	PROMEDIO	EFICIENCIA DE ADSORCION, %
30	12.66	2.42	10.24	4.69		
30	13.01	2.42	10.59	5.04		
					4.86333	
30	12.83	2.42	10.41	4.86	3	65.98824
50	13.94	2.3	11.64	6.09		
50	14.31	2.3	12.01	6.46		
50	14.29	2.3	11.99	6.44	6.33	85.88874
70	12.82	3.04	9.78	4.23		
70	12.68	3.04	9.64	4.09		
					4.23666	
70	12.98	3.04	9.94	4.39	7	57.4853
ADSORCION EN SOLUCION SALINA	7.89	2.34	5.55			

Nota. Elaboración propia.

Tabla 27

Isotermas de adsorción del kerosene a 50°C

t, min	Ce, mg	Qe, g de	1/Ce	1/Qe
	kerosene/litro de solución	kerosene/g de fibra de coco		
1	1.89474	3.89	0.527777	0.257069
5	2.21053	4.72	0.45238	0.211864
10	3.95833	5.38	0.252632	0.185874
15	8.4375	7.38	0.118519	0.135501
20	28.9691	7.81	0.03452	0.128041
25	35.7732	7.98	0.027954	0.125313
30	43.8776	8.01	0.022791	0.124844

Nota. Elaboración propia.

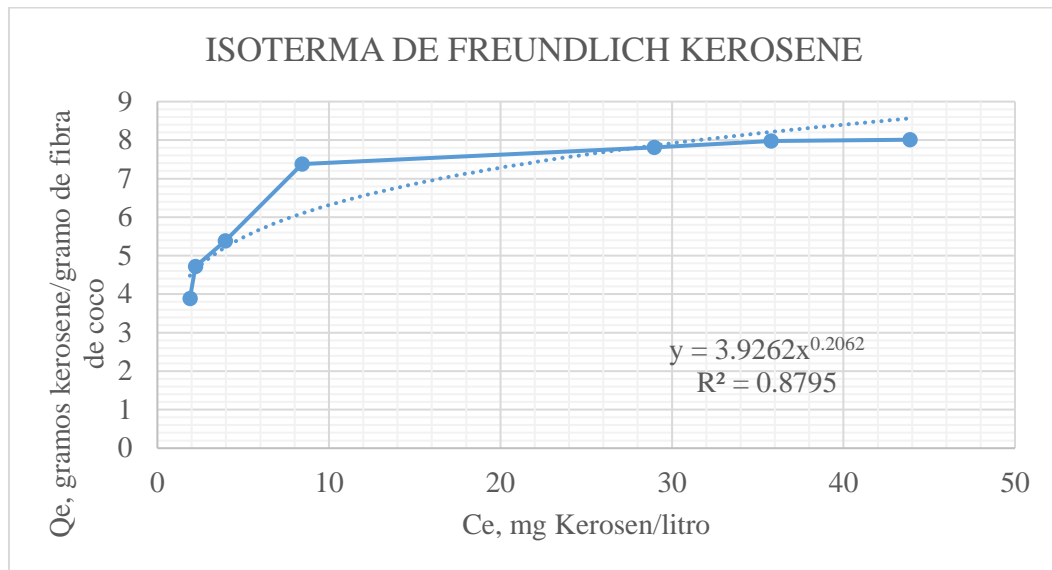


Gráfico8. Isoterma de Freundlich, kerosene. Elaboración propia.

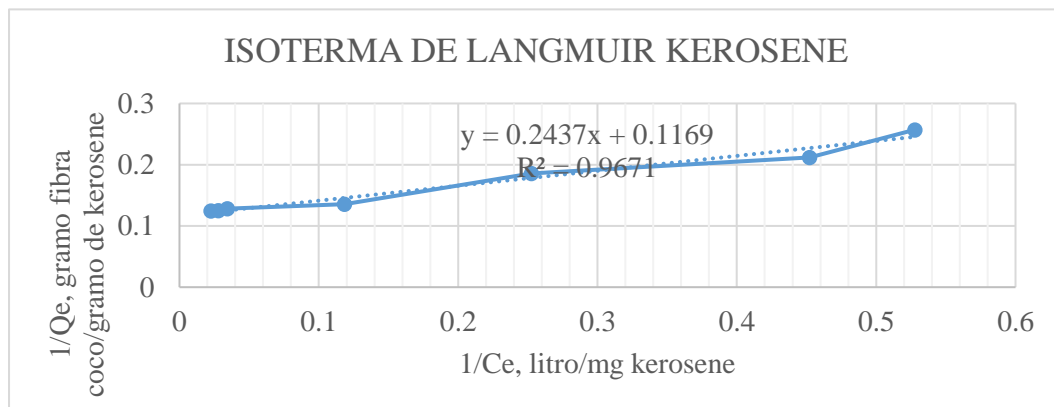


Gráfico7. Isoterma de Langmuir, Kerosene. Elaboración propia.

En la evaluación de regresión se escoge la que demuestra mejor coeficiente de determinación R^2 , es decir la isoterma de Langmuir. De acuerdo a la ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{b \cdot q_m}$$

$$1/q_m = 0.1169$$

Entonces, $q_m = 8.55$ (gr de kerosene/ gr de fibra de coco)

De la gráfica: $q_m \times b = 0.2437$

Entonces: $b = 0.0285$ constante de adsorción (litro de solución/ mg de kerosene)

Tabla 28

Isotermas de adsorción del Diésel B5 a 50°C

t, min	Ce	Qe	1/Ce	1/Qe
1	0.31579	4.01	3.166661	0.249377
5	0.63158	5.65	1.583331	0.176991
10	0.8333	7.32	1.200048	0.136612
15	2.1875	8.14	0.457143	0.12285
20	10.6186	8.27	0.094174	0.120919
25	27.8351	8.29	0.035926	0.120627
30	44.2857	8.32	0.022581	0.120192

Nota. Elaboración propia.

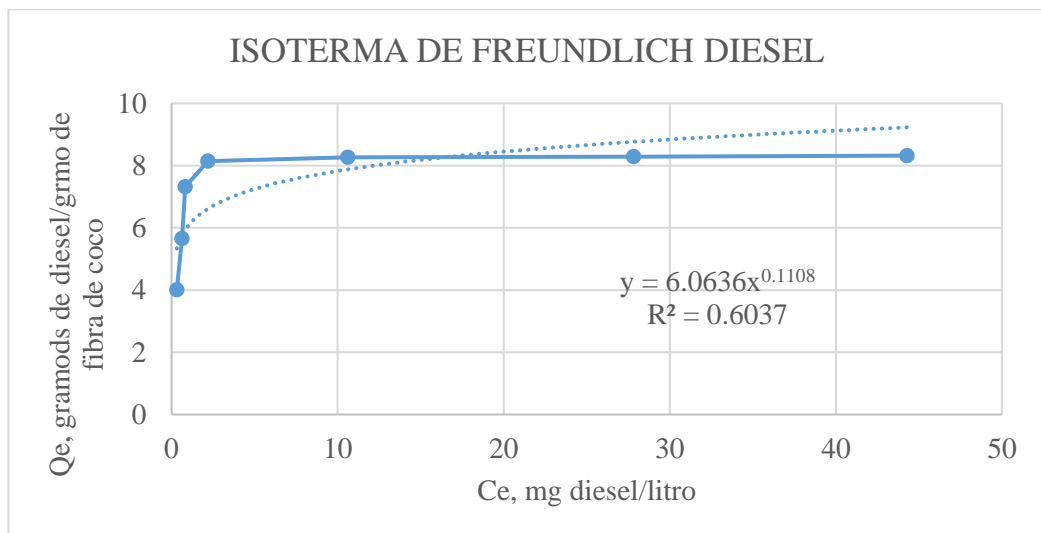


Gráfico9. Isoterma de Freundlich. Diésel. Elaboración propia

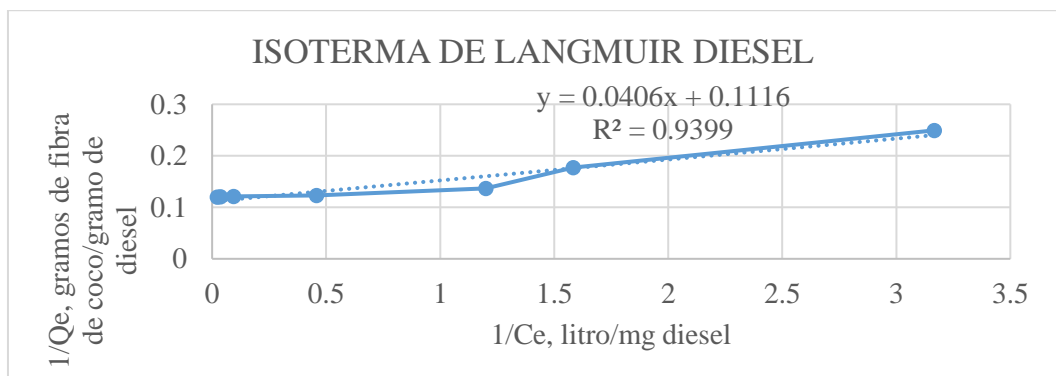


Gráfico10. Isoterma de Langmuir Diésel. Elaboración propia

Se escoge la que demuestra mayor regresión, es decir la isoterma de Langmuir. De acuerdo a la ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{b \cdot q_m}$$

$$1/q_m = 0.1116$$

Entonces, $q_m = 8.96$ (gr de Diésel B5/ gr de fibra de coco)

De la gráfica: $q_m \times b = 0.0406$

Entonces: $b = 0.00453$ constante de adsorción (litro de solución/ mg de Diésel B5)

Tabla 29

Isoterma de adsorción de la Gasolina a 50°C

T	Ce	Qe	1/Ce	1/Qe
1	0.52632	3.04	1.899985	0.328947
5	0.84211	3.44	1.187493	0.290698
10	3.22917	4.91	0.309677	0.203666
15	6.875	6.71	0.145455	0.149031
20	25.3608	7.06	0.039431	0.141643
25	40.5155	7.29	0.024682	0.137174
30	44.1837	7.32	0.022633	0.136612

Nota. Elaboración propia

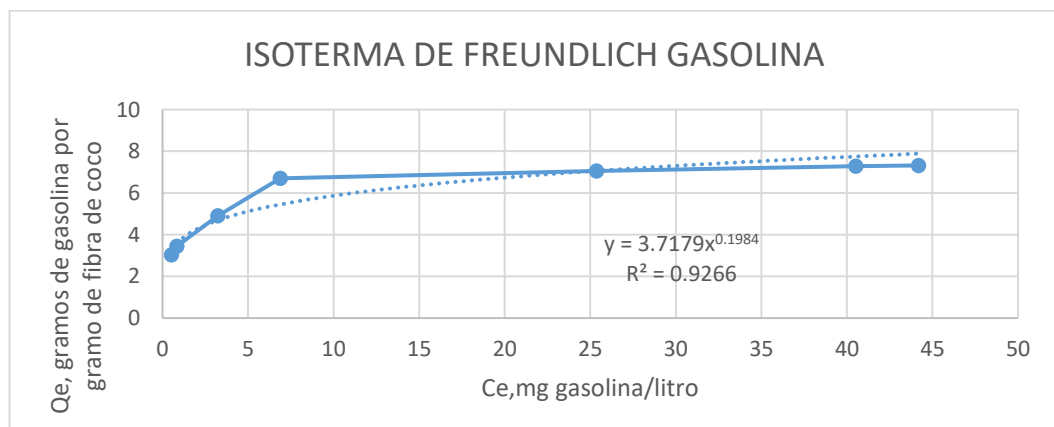


Grafico 11. Isoterma de Freundlich. Gasolina. Elaboración propia.

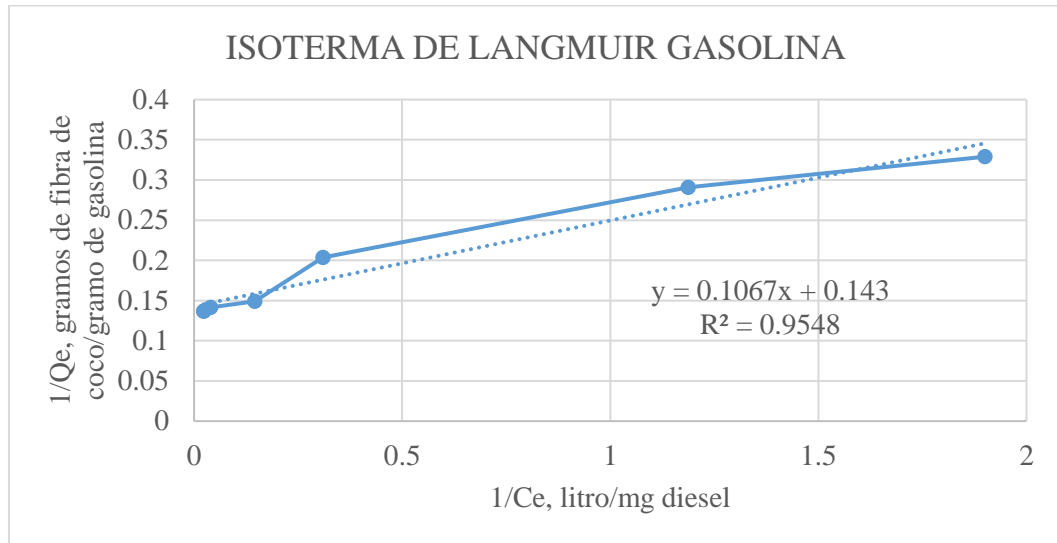


Grafico12. Isoterma de Freundlich. Gasolina. Elaboración propia

Se escoge la que demuestra mayor regresión, es decir la isoterma de Langmuir. De acuerdo a la ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{b \cdot q_m}$$

$$1/q_m = 0.143$$

Entonces, $q_m = 6.99$ (gr de Gasolina / gr de fibra de coco)

De la gráfica: $q_m \times b = 0.1067$

Entonces: $b = 0.015$ constante de adsorción (litro de solución/ mg de Diésel B5)

IX. ANEXOS

Figura 9.1. Proceso de secado de la fibra de coco. Elaborado por los autores.

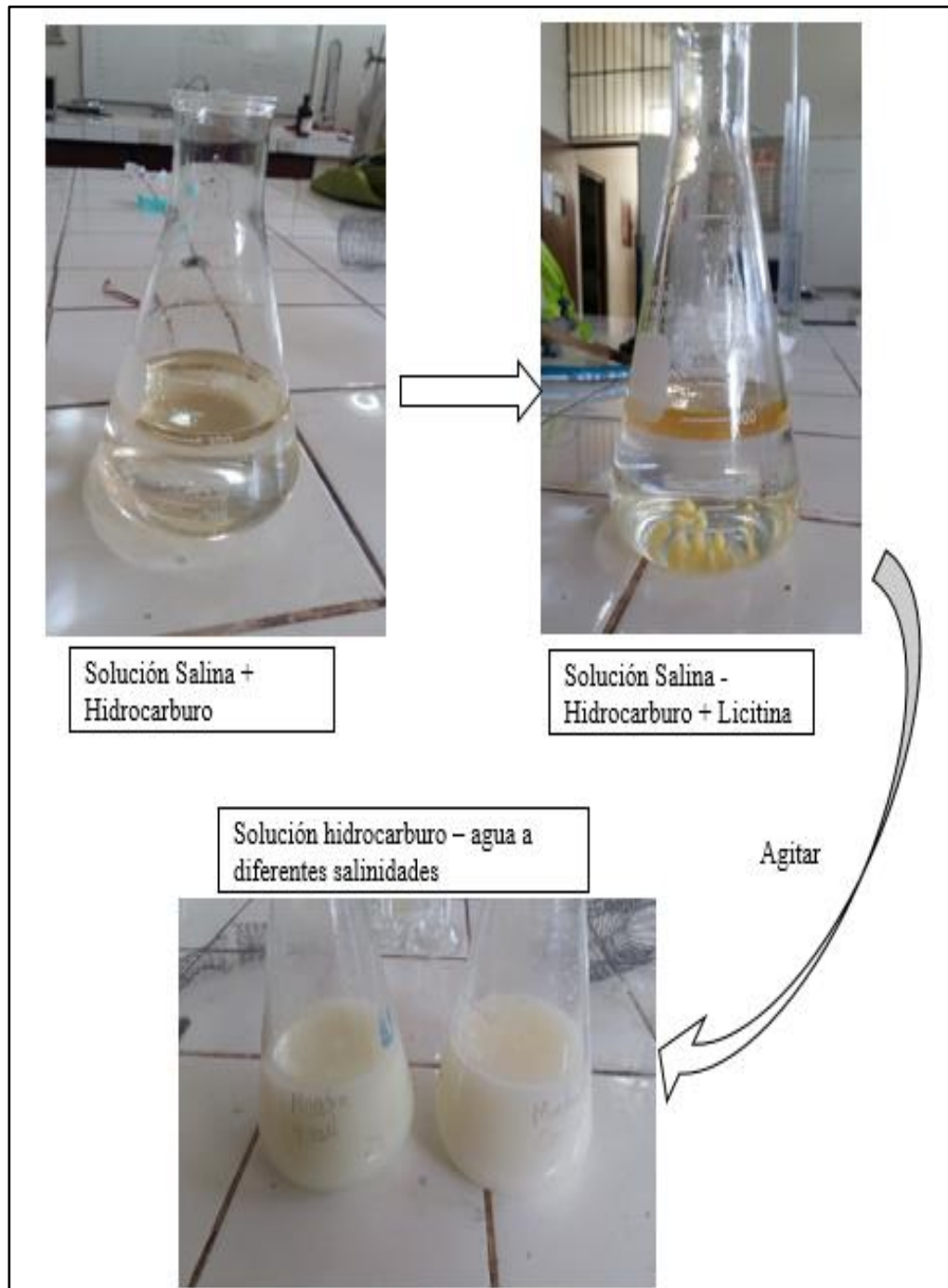


Figura 9.2. Proceso de preparación de solución de muestra agua- hidrocarburo. Elaborado por los autores.



Figura 9.3. Proceso de acondicionamiento de muestra agua- hidrocarburo y de la muestra de fibra de coco. Elaborado por los autores.

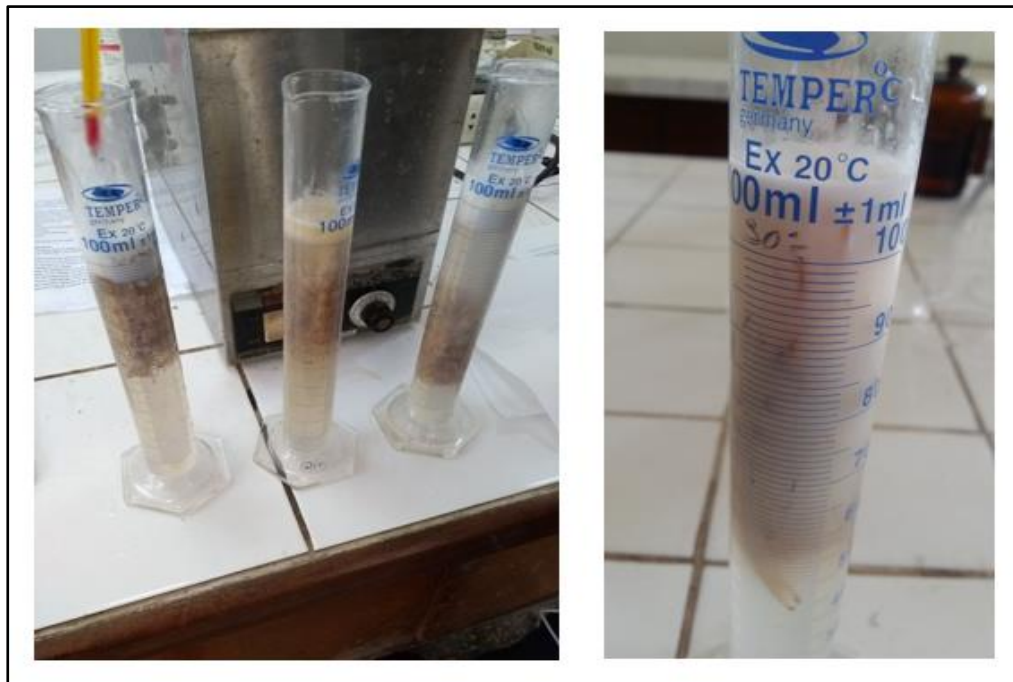


Figura 9.4 Agregado de la fibra de coco, agitado y dejado reposar 15 minutos. Elaborado por los autores.



Figura 9.5 Pesado de la fibra de coco. Elaborado por los autores



FICHA TECNICA

1.0 NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO:

Producto final: **COCOMIX**

1.1. Identificación del fabricante:

Nombre: **WALGREENS COIR INC.**

Dirección: 127, SUBBIAN NAGAR POLLACHI, TAMILNADU-642002 - INDIA

1.2. Identificación de la empresa importadora:

Nombre: **MARUPLAST INTERNACIONAL EIRL**

Dirección: Av. Primavera 120 Of. B -404 Surco, Lima - Perú

2.0 INFORMACIÓN SOBRE EL PRINCIPAL COMPONENTE DEL PRODUCTO

TEST RESULTS			
PARAMETER	TEST METHOD	UNIT	RESULTS
Electrical Conductivity	AOAC	0.3 mmhos	
pH	AOAC		6.50
N	AOAC	%	0.16
P	AOAC	%	0.08
K	AOAC	%	0.06

Figura 9.6. Ficha técnica de la cascara de coco. Tomado de "http://www.maruplast.com/fibra_coco.html"