

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ADSORCIÓN DEL ASERRÍN PARA
REMOVER ACEITES PESADOS EN CUERPOS DE AGUA A ESCALA
LABORATORIO**



**MARÍA ELVIRA JIMÉNEZ VILLADIEGO
GUSTAVO ADOLFO PADILLA GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARTAGENA DE INDIAS, D.T Y C.
2012**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ADSORCIÓN DEL ASERRÍN PARA
REMOVER ACEITES PESADOS EN CUERPOS DE AGUA A ESCALA
LABORATORIO**



**MARÍA ELVIRA JIMÉNEZ VILLADIEGO
GUSTAVO ADOLFO PADILLA GONZÁLEZ**

**Trabajo de grado para optar el título como
Ingeniero Químico**

**Director de tesis
Ángel Villabona. Esp.**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARTAGENA DE INDIAS, D.T Y C.**

2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

DEDICATORIA

Esta tesis es una parte de mi vida y comienzo de otras etapas por esto y más, la dedico a

Dios.

A mi madre Diana Villadiego y mi padre Farid Jiménez,

Por brindarme su apoyo incondicional, la oportunidad de estudiar, por todas sus enseñanzas, principios inculcados desde niña y sobre todo por su amor.

A mi hermana Diana,

por ser mi ejemplo a seguir y enseñarme que en la vida se lucha para triunfar, sin importar los obstáculos que se presentan.

A mis hermanos Saúl y Farid,

por ser ejemplos de rectitud y responsabilidad.

A mi sobrina Eimi,

...quiero ser tu ejemplo de superación, preciosa!!!

A mis abuelos,

aunque ya no estén presentes se que estarán celebrando conmigo, solo les digo con todo mi corazón muchas Gracias!! Es una lástima que se hayan ido, sin haberles podido cumplir algunos sueños que tenían.

A mi amiga Valeria,

amigaaa!! Por fin terminé!!! Gracias porque tu amistad llegó en el momento justo, aunque ya no lo podrás leer, siempre supiste que fue así.

A mis grandes amigos,

en especial a Majo, Chikis, Anye, Alex, Erika y Chencho!!

María Elvira Jiménez Villadiego

A mi abuela materna MARGARITA SUSANA LOMINET DE GONZÁLEZ, quien es mi ejemplo y maestra, quien me ha mostrado cada día, que aunque la vida te derrumbe siempre vale la pena levantarse y seguir adelante. Gracias por tus consejos, por el amor que siempre me has brindado y por inculcarme día tras día el don de la responsabilidad.

A Dios por acompañarme todos los días e iluminarme en este arduo camino.

A mi Madre Luz Estella González, quien siempre ha estado a mi lado brindándome su apoyo, esfuerzo y confianza, por ser el pilar que me sostiene.

A mi Padre Gustavo Padilla P., gracias por la perseverancia y motivación que día a día me impulsa a seguir adelante.

A Diana Padilla, mi incondicional compañera y la que esta a mi lado en todos los momentos, gracias hermanita.

A Irina Rincón, porque tu confianza y entrega me recuerdan que los sueños se alcanzan con perseverancia, esfuerzo y amor.

A mis abuelos, por enseñarme que la vida es una lucha que se gana siendo honesto.

A mis Familiares, quienes me enseñaron la importancia de la unidad en la familia y por estar con migo en todos los momentos.

A todos mis amigos, compañeros y maestros de la Universidad de Cartagena, quienes de una u otra manera formaron parte de esta aventura, siempre quedaran en mis recuerdos y mi corazón.

Gustavo Adolfo Padilla González

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndonos paciencia, dando ánimos, acompañándonos en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

Agradezco a los ingenieros (as) químicos (as) que hicieron posible este proyecto, Gesira De Ávila, Isabel Cristina Paz, por sus comentarios en todo el proceso de elaboración de la Tesis y sus atinadas correcciones, Lesly Tejeda por los consejos, el apoyo y el ánimo que nos brindó y nuestro director Ángel Villabona por haber confiado en nosotros este trabajo, y a quienes participaron en la fase de experimentación, Orlando De la Rosa, y en especial al Ingeniero José Colina, a la Universidad del Valle, sin su apoyo no hubiera sido posible la realización de la misma.

Gracias también a nuestros queridos compañeros, que nos apoyaron y nos permitieron entrar en su vida durante estos 5 años y medio de convivir dentro y fuera del salón de clase. Promoción 2012.

Gracias a todos!!!

GLOSARIO

- Aserrín:** Es un producto de desecho del procesamiento de la madera compuesto de tres componentes principales: la lignina, celulosa y la hemicelulosa.
- Diesel:** Está constituido por una mezcla de hidrocarburos de petróleo con número de átomos de carbono entre C9 y C26. Los principales componentes son hidrocarburos olefínicos, saturados y aromáticos provenientes de la destilación del petróleo. Puede contener hidrocarburos policíclicos aromáticos, que según estudios experimentales, son cancerígenos reconocidos para los animales. Contiene aditivos para mejorar las prestaciones del combustible.
- Madera:** Es el conjunto de tejidos orgánicos que forman la masa de los troncos de los árboles, desprovistos de corteza y hojas.
- Método sohxlet:** La extracción es una de las operaciones básicas del laboratorio. Se define como la acción de separar con un líquido una fracción específica de una muestra, dejando el resto lo más íntegro posible. Se pueden realizar desde los tres estados de la materia, y se llaman de la siguiente manera: 1) Extracción sólido – líquido; 2) extracción líquido – líquido y 3) extracción gas – líquido.

Reducción de tamaño de partícula: Operación cuyo objetivo es hacer que partículas grandes se hagan más chicas.

Secado: Operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, con base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa.

Tamizado: Separación de una mezcla compuesta por sólidos de diversos tamaños de grano en dos o más porciones mediante una superficie tamiz que actúa como separador de tipo “aceptación y rechazo”, de tal manera que las porciones finales originadas en la separación estén constituidas por granos de tamaño mas uniforme que en la mezcla original.

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron determinar el porcentaje de aceite adsorbido por aserrines y realizar la caracterización fisicoquímica de tres especies forestales nativas de la Costa Caribe colombiana: Cedro (*Cedrela Odorata L*), Camajón (*Sterculia apétala*), Ceiba Amarilla (*Hura Crepitans L.*), explorando una solución alternativa a la problemática ambiental, de aceites pesados en agua, utilizando materiales orgánicos, catalogado como desecho.

Las muestras de madera utilizadas fueron obtenidas en un taller de Carpintería en los departamentos de Sucre y Bolívar, tamizadas en mallas de 10 y 18 mesh, recolectando la fracción que pasó por ella. Fué lavada y secada para su utilización. Se investigó el potencial del aserrín en experiencias en el laboratorio con Diesel como aceite pesado; estos estuvieron en contacto por un tiempo 10 min en frascos de vidrio, permitiendo la interacción entre estos, para favorecer la penetración y permeación. Seguidamente a la separación del aserrín de la solución, las muestras fueron sometidas a ensayos Soxhlet y a cromatografía de gases para determinar la cantidad de aceite adsorbido, la cual varió en los tres tipos de muestra, debido a la composición fisicoquímicas en cada tipo de madera. La capacidad máxima de adsorción fué arrojada por *Cedrela Odorata L* (58.51%), seguido por *Hura Crepitans L* (58,13%), y por último *Sterculia Apétala* (34,15%), bajo las condiciones de mayor cantidad de aserrín (5 g) y tamaño de partícula menor (1 mm). Los espectros infrarrojos muestran la química de cada aserrín utilizado, es decir, sus compuestos hidrofóbicos e hidrofílicos, y los resultados obtenidos experimentalmente, están acordes a lo que arrojó el análisis FTIR. Luego, establecidas las condiciones que mejor remueve y el tipo de aserrín que obtuvo el mejor resultado, se evaluó el potencial de adsorción de *Cedrela Odorata L*, hasta alcanzar un punto de saturación aproximadamente de 13.13 mg/L, siendo lo máximo removido para un tamaño de partícula de 1 mm y una cantidad de 5 g de aserrín a diferentes concentraciones.

ABSTRACT

The objective of this research were to determine the percentage of oil absorbed by sawdust and perform the physicochemical characterization of three tree species natives to the Caribbean Coast: Cedar (*Cedrela Odorata L*), Camajón (*Sterculia apetala*), yellow kapoc (*Hura crepitans L.*), exploring a solution of the environment problem, using organically materials..

Wood samples were obtained in a woodworking shop in Sucre and Bolivar, screened at 10 mesh and 18 mesh, we collected the fraction that passed through them. The sawdusts were washed and dried for use. We investigated the potential of sawdust on laboratory experiences with heavy oil (diesel); sawdusts were in contact with heavy oil for 10 minutes, in glass jars, allowing interaction between them and favoring the penetration and permeation, separating oil from water. Subsequently, the sawdust samples were tested for soxhlet and gas chromatography to determine the amount of adsorbed oil varying in the three types of samples, this physico-chemical composition was different for each type of timber. The bigger adsorption capacity was shown by *Cedrela Odorata L* (58.51%), next by *Hura Crepitans L* (58.13%) and the last one *Sterculia Apétala* (34.15%), under conditions of increased amount of sawdust (5 g) and smaller particle size (1 mm). Infrared spectra show the sawdust chemistry used. It shows the hydrophobic and hydrophilic compounds, and the experimental results are consistent with the FTIR analysis yielding. Then, set the conditions better and removes sawdust kind of had the best result, we evaluated the potential for adsorption of *Cedrela odorata L*, reaching a saturation point approximately 13.13 mg / L, the maximum being removed to a size particle of 1 mm and an amount of 5 g of sawdust at different concentrations.

PALABRAS CLAVES: Diesel, *Cedrela Odorata L*, *Sterculia Apétala*, *Hura Crepitans L*, adsorción, aceites pesados.

CONTENIDO

pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
2. JUSTIFICACIÓN.....	19
3. OBJETIVOS	20
3.1. Objetivo general.....	20
3.2. Objetivos específicos.....	20
4. MARCO DE REFERENCIA.....	21
4.1. Estado del arte.....	21
4.2. Antecedentes	25
4.3. Marco teórico y conceptual.....	29
4.3.1. Aceites pesados	29
4.3.2. Contaminación acuática por aceites pesados	29
4.3.3. Tipos de contaminantes de aguas y métodos tradicionales.....	30
4.3.4. Absorbentes.....	30
4.3.5. Características naturales de la madera.....	35
4.3.6. Descripción de las especies a estudiar.....	40
4.3.7. Factores o variables que influye en el proceso de adsorción.....	44
4.3.8. Factores o variables que influyen en otros procesos.....	44
5. METODOLOGÍA	46
5.1. Tipo de investigación.....	46
5.2. Técnicas de recolección de información.....	46

5.2.1.	Fuentes de información primaria.....	46
5.2.2.	Fuentes de información secundarias.....	47
5.3.	MUESTRA	47
5.4.	VARIABLES: V. Independientes, V. Dependiente, V. Interviniente.....	49
5.4.1.	Operacionalización de las variables.....	49
5.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL	50
5.6.	EQUIPOS.....	52
5.6.1.	Tamizadora	52
5.6.2.	Horno	52
5.6.3.	Soxhlet	53
5.6.4.	Cromatógrafo de Gases.....	54
5.6.5.	Infrarrojo	55
5.7.	PROCEDIMIENTO	57
5.7.1.	Preparación de los adsorbentes	57
5.7.2.	Caracterización del adsorbente	57
5.7.3.	Determinación de la cantidad de aceite adsorbido.....	58
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
6.1.	CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES	60
6.1.1.	Caracterización de <i>Sterculia Apétala</i> (Camajón).....	60
6.1.2.	Caracterización de <i>Hura Crepitans L.</i> (Ceiba Blanca).....	64
6.1.3.	Caracterización de <i>Cedrela Odorata L.</i> (Cedro).....	67
6.2.	Capacidad de adsorción y remoción de Diesel.....	72
6.3.	Potencial de adsorción de <i>cedrala odorata L.</i>	79
7.	CONCLUSIONES.....	81
8.	RECOMENDACIONES.....	82
	REFERENCIAS	83

ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipos de adsorbentes utilizados	47
Tabla 2. Condiciones iniciales del agua de mar	48
Tabla 3. Propiedades del adsorbente (diesel)	48
Tabla 4. Variables del diseño experimental	49
Tabla 5. Diseño de experimento.	50
Tabla 6. Resumen de los FTIR.	70
Tabla 7. Resultados del potencial del aserrín para adsorber Diesel.....	73
Tabla 8. Configuración de los rollos absorbentes	76
Tabla 9. Configuración de las barreras absorbentes.	77
Tabla 10. Resumen de comparación de estudios similares.	77
Tabla 11. Potencial de adsorción del <i>Cedrela Odorata L</i>	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Fig.1. Estructura química de la celulosa	36
Fig. 2 Estructura química de la lignina.	39
Fig 3. Árbol de <i>Sterculia Apétala</i> (Camajón).	40
Fig 4. Árbol de <i>Cedrela Odorata L.</i> (Cedro)	41
Fig 5. Árbol de <i>Hura Crepitans L.</i> (Ceiba Blanca)	43
Fig 6. Recipientes de la experimentación	46
Fig 7. Tamizadora.....	52
Fig 8. Horno	53
Fig 9. Equipo Soxhlet	54
Fig 10. Equipo de cromatografía de gases	55
Fig 11. Equipo de infrarrojo.....	56
Fig. 12. Espectro de <i>Sterculia Apétala</i> (Camajón)	61
Fig. 13. Espectro de <i>Hura Crepitans L.</i> (Ceiba Blanca)	65
Fig 14. Espectro <i>Cedrela Odorata L.</i> (Cedro)	68
Fig 15. Cromatografía de gases de la muestra N°12	72
Fig 16. Porcentaje de remoción de aceite	74
Fig.17 Potencial de adsorción de <i>Cedrela Odorata L.</i> 5 g /1 mm.....	79

INTRODUCCIÓN

El agua, constituye un recurso fundamental en el desarrollo de la vida humana y de la industria. La gran mayoría de los cuerpos de agua, están cada vez más contaminados, producto de la mala disposición y un tratamiento inapropiado de los residuos industriales. Por lo tanto, día tras día, se intensifica la búsqueda de nuevas técnicas que implementen métodos o medios adecuados y amigables con el ambiente.

En la actualidad, resulta significativa la importancia que están cobrando los problemas ambientales, así como el reconocimiento de las acciones civiles e institucionales como iniciativas que refuerzan la existencia de una preocupación por el ambiente y la percepción de la necesidad de asumir una conducta más ambiental. La contaminación por aceites pesados en ambientes acuáticos, resulta un problema por la constitución del crudo, pues flota en la superficie formando una película de espesor variable impidiendo la entrada de luz y el intercambio gaseoso, dando comienzo a la solubilización de compuestos hidrosolubles y a la afección de diferentes poblaciones: la primera población afectada por un derrame es el plancton, en segundo lugar los macroinvertebrados, y la última población los Bentos o población de macroinvertebrados, que viven en los fondos de los ríos y ciénagas [1]. Investigaciones recientes han desarrollado diferentes técnicas para la remoción de petróleo en cuerpos de aguas, con el uso de materiales capaces de encapsularlo y aislarlo como por ejemplo los hidrogeles.

Pese a que las industrias petroquímicas en Cartagena, tratan sus efluentes, estos llevan cierta cantidad de aceites, que son vertidos a los cuerpos de agua y la inadecuada disposición final de residuos de aceites lubricantes usados, compuestos por hidrocarburos totales de petróleo (TPH), bifenilos policlorados (PCB), aromáticos policíclicos (HAP), metales y otros compuestos contaminantes, ocasionan un deterioro en el medioambiente y la salud humana por sus efectos cancerígenos, tóxicos y venenosos, que se consideran

sustancias de difícil biodegradación y se clasifican como residuos peligrosos por la reglamentación establecida en el Convenio de Basilea [2].

El propósito de esta investigación se enfoca a evaluar la eficiencia de tres tipos de aserrín de la Costa Caribe colombiana a pesar de haber aproximadamente 24 especies forestales; se tomaron de la literatura, dos tamaños de partículas y dos dosificaciones, pero pudieron ser seleccionadas otros valores, dejando fijos, valores como: pH, tiempo, tipo de aceite, temperatura. Para la remoción de aceites pesados a escala laboratorio se utilizaron equipos analíticos como cromatógrafo de gases, espectrógrafo infrarrojo, recipientes de vidrios, hornos, calentadores y sustancias tóxicas. La investigación, de antemano, supone que la utilización de aserrín, funcionará como un material bioadsorbente, buscando las condiciones favorables y necesarias para lograr un mayor beneficio en pro del medio acuático.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El detrimento causado por los contaminantes a las fuentes hídricas, se ha convertido en uno de los principales problemas que confronta el hombre. Por ello, siempre se está en una constante búsqueda de nuevas alternativas, que puedan enmendar el daño causado, teniendo en cuenta el equilibrio ambiental; se sabe que el uso excesivo de recursos de origen fósil y subproductos petroquímicos, contribuye al aumento de contaminantes que posee el agua. Un ejemplo de ello son los accidentes o derrames de crudo en océanos y ríos que se presentan con frecuencia afectando al ecosistema acuático. Las industrias por supuesto, son otra fuente de contaminación, ya que el lavado con agua de tuberías y equipos industriales genera efluentes con altas concentraciones de aceites pesados.

Esta problemática ha impulsado en gran medida el estudio de nuevas alternativas de bajos costos, eficaces y lo más importante, tecnologías limpias, pues los tratamientos tradicionalmente empleados, no son amigables con el medio ambiente; por ejemplo, la mayor parte de los dispersantes son inflamables y tóxicos de manera potencial, contribuyendo a la suciedad de las zonas costeras y a la contaminación del agua potable, las espumaderas (desnatador), los absorbentes, entre otros, presentan problemas similares [3].

Una de las técnicas más rentable y ecológica para la eliminación de aceites pesados, consiste en el uso de bioadsorbentes, que a su vez sean residuos de biomasa, en este caso aserrín, como se demuestran en estudios realizados al aserrín de *Ceiba Pentandra L.*, para adsorber Diesel en Malaysia y Brasil.

Investigar el mejor tipo de madera, es una idea innovadora para la industria petrolera colombiana, pues se puede reducir la concentración de aceite pesado, vertido en nuestras

fuentes hídricas, además, el aserrín en las fábricas de ebanistería, es el subproducto más abundantes, considerado como desecho, pero en el tratamiento de efluentes acuosos con contenido de aceites pesados, tiene un valor significativo.

La creación de nuevos equipos o la adaptación de equipos ya existentes, al uso de aserrín, trae múltiples beneficios, tales como, una disminución en los costos de elaboración y mantenimiento de los mismos, ya que la base de estos será un material fácilmente reemplazable y de fácil acceso, además de los ya mencionados beneficios ambientales. Un filtro de aserrín adaptado a una tubería de desagüe de aguas contaminadas con aceite, además de contribuir con el medio ambiente, brinda a la empresa la oportunidad de cumplir con la normativa ambiental, reduciendo multas y aspectos legales.

2. JUSTIFICACIÓN

La búsqueda de nuevos materiales, de tipo orgánico, ha contribuido a remediar problemas ambientales como la contaminación acuática, logrando una mejor disposición y utilización de residuos sólidos, para nuestro caso en particular el aserrín, considerado desecho en las fábricas de ebanistería, puesto que, se usará para lograr la disminución de la concentración de aceites en las fuentes hídricas.

El alto contenido de aceites en los efluentes de las industrias petroleras, contribuye a la desaparición de las reservas hídricas de Colombia. En vista de la importancia y necesidad de detener esta problemática, se ha implementado el uso de biomateriales económicos, eficaces, versátiles y viables para el medio ambiente, por lo tanto, se hace necesario una investigación orientada a la evaluación del potencial del aserrín, para remover aceites pesados en cuerpos de aguas a escala laboratorio de distintos tipos de madera de la Costa Caribe Colombiana, con tamaños de partículas y cantidades diferentes, con el fin de analizar mediante caracterización y pruebas analíticas la capacidad de adsorción del aserrín.

Este tipo de investigación, brinda la oportunidad de suministrar información útil, respecto al porcentaje de remoción de aceites pesados, que se logrará con tres tipos de madera de la Costa Caribe, pues en Colombia aún no se ha implementado el uso del aserrín para adsorber aceites pesados, a pesar que se conocen ciertas tendencias de su comportamiento como adsorbedor, por tanto, se espera como resultado un buen rendimiento en las pruebas para luego emplearlo en los efluentes de las industrias petroquímicas.

Es importante señalar que los resultados de este estudio contribuirán al desarrollo biotecnológico con miras a la protección y cuidado ambiental, puesto que, una vez finalizada esta investigación se podrá establecer si es una alternativa viable con múltiples beneficios para el desarrollo ambiental en la costa Caribe y resto de Colombia.

3. OBJETIVOS

3.1.OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el potencial de bioadsorción del aserrín para remover aceites pesados en cuerpos de aguas a escala laboratorio.

3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la Caracterización física y química de tres tipos de aserrín propios de la región Caribe, determinando su desempeño como bioadsorbente de aceites pesados.
- Identificar las condiciones de operación del proceso de adsorción referida a tamaño de partícula y dosis adsorbente-sorbato, para encontrar la más favorable.
- Establecer la capacidad de adsorción del aserrín en la remoción de aceites pesados a través de la aplicación de pruebas analíticas.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años el uso de aserrín como material adsorbente de diferentes materiales ha tomado gran auge alrededor del mundo. El aserrín de Bambú se utilizó como materia prima adsorbente, para eliminar metales pesados y colorantes en agua ya que posee una estructura polimérica constituida por celulosa-lignina, capaz de efectuar el mecanismo de la adsorción de protones de los contaminantes [4].

En Sur África, demostraron la capacidad de adsorción, además, del bajo costo que posee el aserrín de pino, para el tratamiento de aguas residuales que contenían níquel (II) y otros iones de metales pesados. En este estudio, se indicó que el uso de aserrín de pino podría ser una prometedora solución para la eliminación de los iones de níquel a partir de varios componentes de soluciones acuosas [5].

En Brasil, tomaron muestras de aserrín para la adsorción de Cr (VI) en curtiembres de aguas residuales presentando una capacidad eficiente de adsorber dicho material de esta clase de efluentes [6].

El uso de una mezcla de bentonita y aserrín, utilizando aserrín en su gran mayoría, es muy eficaz para la coagulación de aceite en agua. La eficiencia lograda de coagulación es de 92% o más. Una pequeña cantidad de hidróxido de calcio puede ser añadida a la mezcla para aumentar la eficiencia de la coagulación al 94%. El uso de compuestos órgano-bentonita, en lugar de la bentonita sin modificar, aumenta la eficiencia de la coagulación a más del 95%, pero aumenta los costos [7].

En la Universidad de Prist, India, se investigó sobre el rendimiento de los adsorbentes de bajo costo tales como polvo de aserrín y polvo de neem, en la eliminación de metales

pesados como Zn (II), Cu (II) y Cr (VI) presentes en tintes, encontrados en efluentes textiles. La eliminación de iones de metales pesados de la industria textil aumenta con un aumento en la dosis de adsorbente. Los resultados arrojaron que el aserrín era mejor adsorbente que el polvo de neem [8].

En Nigeria, investigadores demostraron que el aserrín tratado puede ser utilizado eficazmente como materia prima para la extracción del colorante azul de metileno en solución acuosa, en un amplio rango de concentración. El azul de metileno se absorbe en gran medida en la superficie de aserrín tratado. El efecto de los diferentes reactivos utilizados para los estudios de desorción muestra que el ácido clorhídrico es el mejor reactivo, ya que podría obtener más del 90% de remoción de colorantes adsorbidos [9].

En Colombia, la Universidad de Antioquia trabajó en el uso del aserrín como material adsorbente, con el apoyo de una técnica de decoloración, Partículas de hierro valencia cero (ZVI), lo cual incrementó la adsorción al mismo tiempo con una degradación parcial del colorante [10].

Las anteriores investigaciones señalaron el potencial adsorbedor del aserrín con iones presentes en soluciones acuosas, pero, dicho material no solamente es utilizado para adsorber iones, entre un sin fin de aplicaciones, sino también, la de adsorber aceites en el proceso de combinación de la adsorción de aserrín y una valorización energética a través de la combustión del aserrín impregnado, en el tratamiento de aguas residuales de aceite de oliva [11]. Luego, se empleó una nueva estrategia de valorización de OMWW (olive mill waste-water) basado en la adsorción de aserrín seguida de combustión [12]; ya que, los países productores de aceite de oliva se enfrentan a un serio desafío para encontrar una solución ambiental y económicamente viable en el manejo y disposición de OMWW. El aserrín fue seleccionado como un adsorbente de bajo costo. La gran superficie de aserrín permite una evaporación eficiente del contenido de agua en condiciones atmosféricas normales y también elimina los olores asociados con el OMWW [13].

Estados Unidos y China, trabajaron en la coagulación de aceites en el agua para la posterior eliminación de los mismos. Se usó una mezcla de bentonita y aserrín, siendo muy eficaz para la coagulación de aceite en agua, con una eficiencia de coagulación de 92% o más. El aserrín, de manera opcional se añade hidróxido de calcio alcanzando una eficiencia de 94%. Las propiedades del aserrín para la fijación fibrosa del aceite en la coagulación y la bentonita, facilitan la formación de agregados flotantes y la posterior eliminación de los mismos. En presencia de la bentonita sin modificar, el aserrín aumenta la eficiencia de coagulación de manera significativa, mientras que el hidróxido de calcio aumenta la eficiencia de coagulación en un grado mucho menor [14].

En Kuwait, se realizaron experimentos, y por primera vez se observó, que el aserrín es naturalmente colonizado por una microflora rica en hongos y bacterias que utilizan hidrocarburos para su desarrollo. Este hallazgo es interesante para la ciencia básica, así como para su aplicación práctica [15].

En China, trabajaron una serie de experimentos cinéticos y de equilibrio utilizando NaCl, y modificando temperatura, salinidad y pH del medio en la absorción de petróleo pesado en los sedimentos de la bahía de Jiaozhou. El equilibrio de absorción de los crudos pesados y los sedimentos se estableció en un plazo de 60 min. Se demostró que el proceso sigue un modelo cinético de pseudo-segundo orden. La tasa de absorción disminuye con el aumento de la concentración inicial de crudo pesado en la solución. Experimentos de equilibrio de lotes mostraron que la isoterma de absorción puede ser descrita por el modelo de Freundlich. La variación de energía libre y entalpía cambios en las temperaturas estudiadas (283, 288, 293 y K 298) fueron negativos. Estos resultados indican que el proceso fue espontáneo y exotérmico. Salinidad, pH y la temperatura influyen en el desempeño de absorción, esta misma se vio favorecida por una alta concentración de cloruro de sodio, con valores de pH más bajos y por las bajas temperaturas [16].

El aserrín es una biomasa disponible y renovable, reconocido como un excelente bioadsorbente por su alta capacidad de adsorción. Este puede absorber también amonio;

para esta clase de compuestos, debe trabajarse la solución en un rango de pH de 6-10, y llegando a un estado de equilibrio en tan solo 20 minutos. La predicción de un proceso de absorción química puede describirse con un pseudo-modelo matemático de segundo orden, utilizando además isothermas de Langmuir [17].

Diferentes opciones han surgido para mejorar el potencial de absorción del aserrín, entre éstas se encuentra la modificación de parámetros durante el proceso de bioadsorción. Uno de los parámetros que causa un efecto más significativo en el incremento de dicho potencial es la superficie del aserrín. Un estudio realizado en Cameron, modificó la superficie de un lote de aserrín con paraquat (Triplóchiton schleroxylon). El paraquat forma una monocapa en la superficie de serrín como lo demuestra la buena correlación entre los datos experimentales y el modelo de Langmuir. La bioadsorción se incrementa a tal punto que el equilibrio se alcanzó después de diez minutos. Se sigue un modelo cinético de pseudo-segundo orden, que no obedece al modelo de difusión intra-partícula. Observando que los poros y la superficie del material influyen en el fenómeno. [18]

4.2. ANTECEDENTES

El aserrín, considerado como un material de desecho en la industria maderera, se ha venido implementando como nueva alternativa, para bioadsorber contaminantes en cuerpos de aguas industriales, y se ha demostrado su utilidad en la eliminación de iones de metales pesados en aguas residuales contaminadas con tinte, estudiando a su vez la eficacia al momento de adsorber contaminantes tales como tintes, los iones tóxicos, y el petróleo de las aguas residuales.

Nuevos métodos se han estudiado como alternativa al método de coagulación y para el tratamiento de los residuos de aceites emulsionados, obteniendo una mayor eficiencia al utilizar una combinación de aserrín con peróxido de hidrogeno [19].

El tratamiento de las aguas utilizando el aserrín como agente absorbente, surgió en la época de los noventa, en 1998, se estudió el papel de aserrín en la extracción de cobre en residuos industriales; efectos como tiempo de contacto, pH, concentración, temperatura, cantidad, tamaño de las partículas y la salinidad, fueron tenidos en cuenta durante el proceso de eliminación de cobre. Se demostró que la eficiencia de la extracción de cobre del agua de río real, utilizando aserrín fue del 63%, y se concluyó que el aserrín es un absorbente excelente para la eliminación de cobre de la solución acuosa [20].

Informes científicos han demostrado que el tratamiento de polisulfuro con aserrín era muy eficaz, para la eliminación de cobalto bivalente en solución acuosa [19-21]. El aserrín también, puede ser utilizado para la eliminación de sales tóxicas del agua, por ejemplo, las paredes de la desnitrificación modificadas con aserrín han demostrado ser eficaces en la eliminación de nitratos [22]. Metales, como níquel, zinc y cadmio, pueden ser removidos de las aguas utilizando aserrín, como remplazo a los actuales métodos, siendo estos más costosos que el aserrín. En Serbia y Montenegro se examinó la eficiencia en la adsorción del aserrín para este tipo de metales. Utilizando la ecuación de BET y comparando sus resultados con datos experimentales, determinaron que el aserrín es más eficiente removiendo cadmio que el resto de metales presentes en la solución acuosa. [23]

En el 2001, se utilizó hierro impregnado de aserrín como un adsorbente de los compuestos fenólicos [24-25].

En este mismo año se demostró, que el aserrín tratado con materiales o químicos especiales puede ser significativamente eficaz para la eliminación de un elemento en particular y además de tener una capacidad superior para la eliminación de iones. Este material ha demostrado ser muy prometedor para la eliminación de contaminantes de las aguas residuales. No sólo es abundante, sino que también es en realidad un adsorbente eficiente y económico para muchos tipos de contaminantes, tales como tintes, aceites, sales, metales pesados, etc; y se encuentra disponible en grandes cantidades en los aserraderos, que presenta con frecuencia un problema para su eliminación [19].

En Grecia, se trabajó el posible uso del aserrín como adsorbente de bajo costo para la eliminación de colorantes en aguas residuales, basándose en el modelo de Freundlich y los valores del coeficiente adsorción. El aserrín es un material adsorbente adecuado y de bajo costo, que puede ser utilizado como una alternativa comercial como carbón activado y filtros, para la eliminación de los colorantes básicos en efluentes de agua [26]

Investigaciones acerca del desempeño de un filtro de lecho de aserrín, utilizado para el tratamiento de una emulsión de aceite en agua, fueron realizadas en 2005. Basándose en un método que consistió en utilizar el lecho de aserrín como medio de filtración y absorbente, además de un fluido de corte, el cual, debido a la alta estabilidad de la emulsión, tenía como función mezclarse con pequeñas cantidades de sales inorgánicas, y así lograr la ruptura de la misma. De este proceso se logro extraer el 99% de los aceites presentes en el agua contaminada [27].

Como resultado de experimentos, en el año de 2006, se comprobó que al tratar el aserrín con ácidos grasos, es decir ácido oleico, ácido esteárico y ácido decanoico, (OGSD), se incrementa el potencial de absorción del mismo, presentando la mejor capacidad de absorción con el ácido oleico, tanto de petróleo crudo, como de petróleo degradado, aceites pesados y ciertos iones, presentes en el agua contaminada. Dicho método no incrementa en un alto grado el costo del material, haciéndolo sumamente rentable [3].

El uso de aserrín esterificado con ácido cítrico también ha arrojado buenos resultados en la remoción de aceites, petróleo y metales pesados de las aguas residuales, conceptos como agitación, pH, concentración de absorbente, entre otros comenzaron a tomar fuerza y fueron introducidos en el proceso de absorción [28].

Se han encontrado nuevos agentes que modifican las propiedades del aserrín para aumentar el poder de absorción del mismo, en 2009, se utilizó NaOH y un tensoactivo catiónico, el monohidrato de hexadecilpiridino cloruro (CPC), para mejorar las propiedades de superficie, textura y propiedades químicas del aserrín, aumentando su potencial absorbente, arrojando resultados bastante óptimos. Estas pruebas de adsorción se llevaron a cabo en el sistema de adsorción por lotes, para la eliminación de aceite mineral estándar (SMO) y el aceite de canola (CO) de agua. Para los aceites emulsionados en el agua residual, se encontró que el potencial de absorción está fuertemente relacionado con el pH de la solución. La máxima capacidad de adsorción de CO y SMO a 25°C es determinada a partir de la isoterma de Langmuir, dando como resultado 613.3 y 584.2 mg g⁻¹, respectivamente [29].

Una de las técnicas físicas más rentables y ecológicas para la eliminación de petróleo y derivados presentes en medios acuosos es mediante el uso de absorbentes [3, 24, 30].

El tratamiento al agua de mar contaminada con petróleo crudo y curtido de petróleo, se ha mejorado en gran medida debido a la utilización de aserrín modificado con ácidos grasos y aceites vegetales, brindando una mejor absorción [3].

Se ha demostrado que la utilización de lechos filtrantes rellenos con aserrín, además, de presentar alto porcentaje de absorción, presentan bajos costos, indicando que se hace factible el uso del aserrín como absorbente en tratamiento de emulsiones de aceite en el agua, cambiándolo con sulfato de calcio. Este puede ser implementado en una planta de tratamiento de aguas residuales convencionales. Además en ese mismo año, 2006, se incitó a un estudio adicional necesario para determinar la probabilidad que se tenía de utilizar el lecho filtrante del absorbente como combustible en plantas energéticas, cuando se

encuentre saturado con aceite [31]. Otra de las aplicaciones de estos lechos filtrantes de aserrín es en la purificación de aceites comestibles, ya que el aserrín adsorbe la gran mayoría de sustancias saborizantes y odorantes, presentes en el aceite, siendo esto ideal en su proceso de purificación.

La coagulación del aceite presente en el agua es muy importante al momento de su eliminación [32], este es considerado como uno de los mejores métodos para absorber aceite, y el potencial de eliminación del aserrín podría incrementarse por “Hydrophobizing” de las superficies de las partículas [33].

A pesar de, necesitar ciertos tratamientos para maximizar el potencial de absorción del mismo, continua siendo muy rentable debido al bajo costo en la implementación de dichos procesos y al costo neto del aserrín como tal [34], es tanto su potencial de absorción que usando exclusivamente paja, se generaron grandes porcentajes de absorción de aceites [30].

En la ciudad de Ohio, Estados Unidos, en el año de 2005 se investigó la hipótesis de magnetizar el aserrín, para maximizar el potencial de recuperación este en aguas abiertas, debido a la cantidad de derrames de petróleo y derivados ocurridos en el océano. En este experimento, el aserrín se hizo magnético bajo el efecto de la impregnación de sulfato de hierro con sales, seguido por la conversión en depósitos con hidróxido de sodio y el tratamiento térmico. Se encontró que la capacidad de absorción de aceite, del aserrín tratado magnéticamente, se mantuvo casi al mismo nivel que la del aserrín no tratado. Luego, el petróleo puede ser recogido fácilmente con un dispositivo magnético en un barco de limpieza [35].

Se evidencia que el aserrín a través de los años, ha sido empleado en varios países del mundo como bioadsorbente, para remediar problemáticas ambientales, obteniendo resultados positivos en la remoción no solo de aceites, sino de otro tipo de sustancias contaminantes.

4.3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.

4.3.1. Aceites pesados

La definición de aceites pesados no es estable, y varía entre los autores. La palabra "Pesado" se relaciona a la elevada densidad del aceite, que usualmente se calcula por la escala de gravedad API.

Según El Servicio Geológico de EE.UU. (USGS)

El aceite pesado es un asfáltico, denso (baja gravedad API), y viscoso que está químicamente caracterizado por su contenido de asfaltenos (moléculas muy grandes que incorpora la mayor parte del azufre y quizás 90 por ciento de los metales en el aceite). Aunque definida de varias maneras, el límite superior para el aceite pesado se ha fijado en 22° API y una viscosidad de 100 cP [36].

4.3.2. Contaminación acuática por aceites pesados

La mayor parte de la contaminación de efluentes de agua se debe al derrame de las actividades relacionadas con el transporte y las operaciones de cargas petroleras, ruptura de tuberías, residuos industriales, como la fuga de los motores, funcionamiento incorrecto de las válvulas, y la descarga de desechos oleosos.

Cuando el aceite es derramado en el agua, sus propiedades físicas y químicas cambian progresivamente, es decir, los cambios físico-químicos aumentan la disolución de aceite en agua. Este proceso se conoce como erosión, que incluye la evaporación, disolución, dispersión, oxidación fotoquímica, degradación microbiana, absorción en materiales suspendidos, aglomeración, y así sucesivamente. El Petróleo derramado tiene un sabor y olor desagradable, causa graves daños ambientales en la vida de las aves acuáticas, y afecta al turismo y la economía [37].

4.3.3. Tipos de contaminantes de aguas y métodos tradicionales.

El problema con la eliminación de los contaminantes del agua y de aguas residuales ha crecido de manera exponencial con la industrialización. Metales pesados, colorantes, aceites y otras sales, que son tóxicas para la vida de muchos organismos, están presentes en los flujos de aguas residuales de muchos procesos industriales, tales como la ingeniería de teñido, estampado, la minería y la metalurgia, la galvanoplastia, las operaciones de energía nuclear, semiconductores, la industria aeroespacial, los procesos de fabricación de baterías, etc.

Los residuos generados en grandes volúmenes aportan una alta carga de contaminante y deben ser tratados antes de ser liberados. Muchos métodos se han utilizado para quitar los componentes del tinte, los contaminantes del petróleo, los metales pesados y efluentes de la industria textil, donde destacan, filtración por membranas, la coagulación, adsorción, la oxidación, intercambio de iones, la precipitación, etc., quienes han sido reportados en la literatura, pero pocos de ellos fueron aceptados debido a sus altos costos, baja eficiencia inaplicabilidad, a una amplia variedad de contaminantes [19].

En los aceites pesados la tecnología aplicada para quitar el aceite de las zonas contaminadas es por el uso de barreras, dispersantes, espumaderas, separador de aceite y agua, o diferentes tipos de materiales absorbentes [37].

4.3.4. Absorbentes

➤ *Definición y mecanismo.*

Los absorbentes son materiales que absorben líquidos. Se pueden utilizar para recuperar el petróleo a través de los mecanismos de absorción, adsorción, o ambas cosas. Los absorbentes permiten que el aceite penetre en los poros del material del que están hechos,

mientras que los adsorbentes de petróleo atraen a sus superficies, pero no permiten que penetre en el material [37].

➤ ***Tipos de adsorbentes.***

La adsorción ha ganado una aplicación relativamente amplia, debido a la existencia de varios tipos de adsorbentes que se utilizan comúnmente, que incluye la arcilla, carbón activado, zeolita y gel de sílice y los absorbentes agrícolas como la cáscara de café, cáscaras de maní, bagazo de caña, cáscara de arroz y aserrín [38].

Para mejorar la lucha contra los derrames de petróleo, los absorbentes deben ser oleofílicos e hidrofóbicos. Existen varios estudios de diferentes sorbentes naturales, sintéticas y minerales. Algunos sorbentes puede ser utilizado como el único método de limpieza de derrames pequeños, que son los más utilizados para eliminar los restos final del aceite o en áreas que no se puede llegar por skimmers. Una vez que los sorbentes se han utilizado para recuperar el petróleo, deben ser retirados del agua y dispuestos adecuadamente en la tierra o limpiarse para su reutilización [37].

➤ ***Influencia de la capacidad de adsorción***

Varios factores importantes que influyen en la capacidad de adsorción de los absorbentes son la densidad, la porosidad, la selectividad, y la retención [40].

❖ **Densidad**

Hay dos tipos de densidad relativa a la absorción: la densidad real y densidad aparente. Densidad real es una medida de solamente los sólidos, a pesar de los vacíos internos o áreas

intersticiales, y una vez determinado, se puede considerar constante para un determinado material. El volumen puede ser determinado por inmersión de una masa conocida de material en un recipiente de volumen conocido de un líquido humectante. El líquido se debe permitir que penetre completamente el material y desplazar a los gases atrapados. Puede que sea necesario para aumentar la penetración con el vacío o la agitación. La densidad real, se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$D_S = D_L \frac{M_S}{M_1 + M_S - M_2}, \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde,

D_S es la densidad del sólido, D_L es la densidad del líquido humectante, M_S es la masa del sólido, M_1 es la masa de líquido requerido para llenar el recipiente de medición sin fibra, M_2 es la masa de líquido requerido para llenar el recipiente de medición con en el M_S en el contenedor.

La densidad aparente es una medida de densidad entre los sólidos, los poros, y los intersticios y puede variar en función de la compactación.

❖ *Porosidad*

Porosidad o volumen vacío, es una medida de la cantidad de volumen disponible en un sistema de absorción. Al igual que la densidad aparente, porosidad puede variar dependiendo de la compactación. La porosidad puede ser expresada de la siguiente manera:

$$P_R = \frac{V - V_S}{V}, \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde,

P_R es la porosidad (%), V es el volumen total del sistema, V_S es el volumen del sólido.

A primera vista, la porosidad puede parecer ser un indicador de la capacidad de absorción. De hecho, es una medida de la capacidad de un sistema único en condiciones ideales. En la práctica, la capacidad de un absorbente es a menudo inferior a su porosidad. Materiales fibrosos con frecuencia tienen porosidades del 90-95%, mientras que los materiales granulares porosidad es a menudo menos del 40%. La porosidad es también a menudo se expresa como la relación de vacíos, la relación de P. Vacío es la relación entre el volumen vacío en volumen real y se expresa como sigue:

$$P = \frac{V - V_s}{V}, \quad (\text{Ec. 3})$$

❖ *Selectividad*

La selectividad es la capacidad de un material absorbente para absorber preferentemente un material sobre otro. Por ejemplo, la mayoría basadas en agro materiales, en diversos grados, absorben selectivamente el aceite sobre el agua. Esto hace que estos materiales absorbentes atractivo en los derrames de petróleo causados por los petroleros y en alta mar fugas plataforma petrolera. El grado de selectividad es influenciada por el tamaño de los poros del adsorbente, la mojabilidad, y la presión capilar. La historia del absorbente es también importante en la selectividad. Por ejemplo, en el caso de los derrames de petróleo, la capacidad del absorbente para absorber el aceite sobre el mar el agua se ve afectada por el hecho que el absorbente fue expuesto primero al aceite o agua [37].

❖ *Retención*

La retención es la capacidad de un material saturado de absorción a retener líquido cuando las condiciones son conductoras en el drenaje. La retención es importante porque en la práctica, los absorbentes se utilizan a menudo en un solo lugar y transportado a otro para su

eliminación o eliminación de líquidos. Un absorbente con alto grado de retención será capaz de transportar más fluido. Los niveles de retención se basan en gran medida de las condiciones relacionadas con el capilar la acción. Por lo general, en equilibrio, un absorbente saturado contiene más líquido luego del drenaje que un absorbente insaturado. Esto se debe a la naturaleza capilar de los sistemas absorbentes, especialmente aquellas basada en la agricultura los materiales, que no es regular. Durante el drenaje, el líquido se detiene cuando el cuello en el sistema capilar es lo suficientemente pequeño como para que la diferencia de presión sea suficiente para mantener la columna de líquido en su lugar.

Durante la absorción, el líquido solo entra al absorbente hasta que llega a una amplia zona donde la caída de presión es insuficiente para soportarlo más en el sistema absorbente. Debido a que, las agrofibras varían mucho, el punto de equilibrio varía en todo el sistema absorbente.

➤ *Aserrín*

Es un producto de desecho del procesamiento de la madera compuesto de tres componentes principales: la lignina, celulosa y la hemicelulosa. La lignina, que se produce naturalmente en las capas de recubrimiento de celulosa y hemicelulosa, capas de xilema y paredes de fibra de la célula; es el componente más recalcitrante, y por lo tanto protege a los componentes menos recalcitrantes de polisacáridos contra el ataque microbiano. La lignina es un polímero complejo sobre la base de propano fenilo, un “monómero” con aromáticos (fenil) y residuos de hidrocarburos alifáticos (propano) [15]. Una de las principales ventajas que presenta este material es su bajo costo, ya que requiere un procesamiento mínimo y es abundante como residuo de la industria forestal [39]. Este material es relativamente hidrófilo, por lo tanto, su superficie tiene que ser modificada para mejorar la eficacia de la adsorción [40].

4.3.5. Características naturales de la madera

☞ **Composición Química**

La madera está constituida fundamentalmente por materias orgánicas tales como: carbono (50%), hidrógeno (6%), oxígeno (44%) y nitrógeno (0.1%). Los elementos fundamentales de la madera al estar combinados con otros, forman en general dos grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, hemicelulosa (poliosas), lignina y también pequeñas cantidades de sustancias pécticas, que están presentes en todas las maderas; el otro grupo lo conforman las sustancias de baja masa molar conocidas también como sustancias extraíbles que se encuentran en menor cantidad. La proporción y composición química de la lignina y las poliosas difiere para las maderas de coníferas y latifolias, mientras que la celulosa es uniforme en composición en todas las maderas [41].

Entre los compuestos orgánicos extraíbles se pueden encontrar hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, ácidos alifáticos, ceras, glicéridos, y compuestos nitrogenados. La proporción de estos componentes varía con la especie, entre la madera de árboles de la misma especie y en diferentes partes del propio árbol, en la madera de la albura y duramen, en dirección radial y longitudinal. Así también, los parámetros edafoclimáticos influyen en la composición química, ya que se presentan diferencias entre maderas que provienen de zonas templadas con las que provienen de zonas tropicales [42].

❖ **Celulosa**

Es reconocida como una de las sustancias orgánicas probablemente más abundantes en la naturaleza, y en la madera constituye el principal carbohidrato, más específicamente un

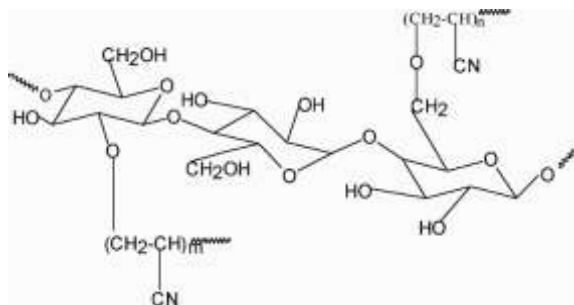
carbohidrato conocido como un polisacárido insoluble en agua, en solventes orgánicos y en ácidos y álcalis diluidos. Está presente en un 40 a 60 por ciento del contenido de la pared celular.

La celulosa puede presentarse en dos formas modificadas, estas son: oxixelulosa e hidroxixelulosa. La oxixelulosa se forma como el resultado de la oxidación parcial de la celulosa con agentes oxidantes como hipocloritos, permanganato o dicromatos. La hidroxixelulosa resulta de la acción de ácidos diluidos. Ambos tipos de celulosa modificada merecen mención dado que su presencia resulta en la degradación de la calidad de la madera y en la reducción de su resistencia.

Estructura: la celulosa está compuesta de moléculas de glucosa ($C_6H_{12}O_6$) como un monosacárido formado a través de la fotosíntesis del dióxido de carbono atmosférico. Esta unión de moléculas de glucosa forma cadenas largas de biopolímeros de 4-(Glucosa) n - β 1, y es acompañada por la eliminación de una molécula de agua, cada molécula de glucosa agregada a la cadena gira 180° y la unión de dos unidades de glucosa da como resultado un disacárido llamado celabiosa. Este proceso de repetición y agregación indefinida de unidades de glucosa (monómeros) se llama polimerización.

La fórmula empírica de la celulosa es $(C_6H_{10}O_5)_n$ donde n es el grado de polimerización con un valor mínimo de 200 [43].

Fig.1. Estructura química de la celulosa



Fuente: Boletín de la Sociedad Chilena de Química Bol. Soc. Chil. Quím.v.47n.1 Concepción mar. 2002
Internet: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0366-6442002000100008&script=sci_arttext

Propiedades: las propiedades más importantes de la celulosa se relacionan, en primer lugar, con la susceptibilidad de la molécula a la hidrólisis y, en segundo lugar, con su capacidad de absorber agua.

La celulosa puede presentarse en dos variedades: la celulosa ordinaria que es la natural, y la celulosa mercerizada que resulta de tratar la celulosa ordinaria por álcalis concentrados eliminando luego por loción el álcali fijado.

❖ **Hemicelulosa**

Se ha definido como la porción de celulosa que puede ser extraída de la madera con álcalis diluidos, calientes o fríos, e hidroliza en ácidos o componentes del azúcar utilizando ácidos diluidos. Es una sustancia amorfa compuesta de polisacáridos tales como manosa, galactosa, arabinosa, xilosa, ácidos urónicos y, en algunos casos, ramnosa.

Estructura: las maderas están conformadas por azúcares neutros de seis átomos de carbono: glucosa, manosa, galactosa y de cinco átomos de carbono: la xilosa y arabinosa. Algunas poliosas contienen adicionalmente ácido urónico. Se pueden encontrar los mananos, glucomananos, glucanos, xiloglucanos, ramnogalactouronanos, y en los xilanos encontramos los arabinoxilanos y O-acetil-4-O- metilglucuronoxilano. Las hemicelulosas se encuentran asociadas con la celulosa mediante fuertes interacciones polisacárido-polisacárido [44].

Propiedades: la función de las hemicelulosas en la madera parece ser de intermediario entre la celulosa y la lignina, tal vez facilitando la incrustación de las microfibrillas. Probablemente no exista enlace químico alguno entre las hemicelulosas y la celulosa, más suficiente adhesión mutua que es fortalecida por los puentes de hidrógeno y las 28 fuerzas de Van der Waals. Si son muy ricas en ácidos urónicos se llaman hemicelulosas ácidas; si no lo son, se denominan hemicelulosas neutras.

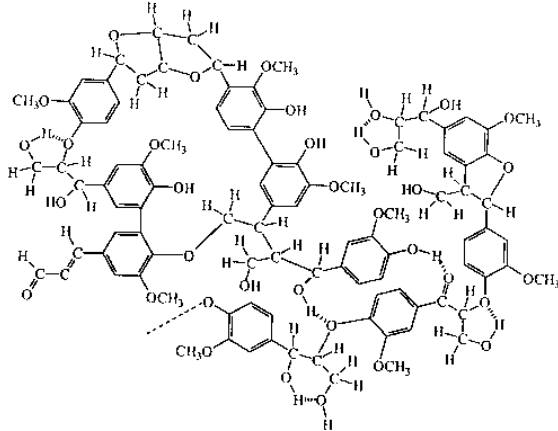
❖ Lignina

Es un polímero aromático complejo, heterogéneo, ramificado, donde no existe ninguna unidad repetida definidamente, no hidrato de carbono de la pared celular, constituido principalmente por un fenil propano sustituido. Por lo general, forma de 18 a 23 por ciento de madera y se encuentra concentrado en la lámina media y en la pared celular secundaria. La lignina es difícil de caracterizar porque en el proceso de aislamientos sufre alteraciones que varían según el método utilizado. Por esta razón, no tiene una referencia específica y se ha llegado a la conjetura, que es una mezcla compleja de compuestos con propiedades similares pero composición química desconocida o que varía en pequeñas formas [45].

Estructura: la molécula de lignina es una macromolécula, con un elevado peso molecular, que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos (cumarílico, coniferílico y sinapílico). El acoplamiento aleatorio de estos radicales da origen a una estructura tridimensional, polímero amorfo, característico de la lignina. La lignina es el polímero natural más complejo en relación a su estructura y heterogenicidad. Por esta razón no es posible describir una estructura definida de la lignina; sin embargo, se han propuesto numerosos modelos que representan una aproximación de dicha estructura. Está formada por la polimerización deshidrogenativa al azar de alcoholes parahidroxicinámicos (alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico), en reacción catalizada por enzimas vía radicales libres.

Las unidades de fenil propano (C₉) se unen por enlaces C-O-C y C-C, presentando en su estructura grupos hidroxilos, carbonilos, metoxilos y carboxilos.

Fig. 2 Estructura química de la lignina.



Fuente: Glasser, W. G. Y Glasser, H. R. "The Structure and Properties of Paper". Australian, 1981.

Propiedades: según su origen, tiene densidades de 1.3 a 1.4 y un índice de refracción de 1.6, su color suele ser pardo, aunque experimentalmente se han hecho muestras de ligninas de colores muy claros. Su insolubilidad en ácido sulfúrico de 72% es la base de una prueba cuantitativa para distinguirlos de la celulosa y en otros carbohidratos en maderas y pulpas de madera. Las ligninas comerciales son solubles en soluciones alcalinas acuosas, y algunas son también solubles en muchos compuestos orgánicos oxigenados y en aminas. Por el calor, las ligninas no se funden, sino que se reblandecen y después se carbonizan. El grado de lignificación afecta notablemente a la digestibilidad de la fibra. La lignina, que aumenta de manera ostensible en la pared celular de la planta con el curso de la maduración, es resistente a la degradación bacteriana, y su contenido en fibra reduce la digestibilidad de los polisacáridos fibrosos.

❖ Extraíbles

Además de celulosa, hemicelulosa y lignina que son componentes macromoleculares, los árboles contienen otras sustancias en menor proporción, que no entran en la composición de las paredes celulares. Estos son los extractivos o extraíbles de los árboles y constituyen una fuente importante de fitoquímicos.

La cantidad y composición de ellos depende de la especie, la parte del árbol, la época del año, las condiciones de crecimiento y otros factores. Todas las especies de madera y la mayoría de los vegetales contienen cantidades variables de algunas sustancias químicas diferentes a los carbohidratos y a la lignina que constituyen la pared celular. Los extraíbles que se encuentran en los tejidos vegetales son sustancias tales como terpenos, fenoles, taninos, minerales, azúcares, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, ácidos alifáticos y aromáticos, esterinas, aceites esenciales, ácidos grasos y resinosos, resinas, grasas y otros.

4.3.6. Descripción de las especies a estudiar.

❖ *Sterculia Apétala* (Camajón)

Fig 3. Árbol de *Sterculia Apétala* (Camajón)



Fuente: Tomada en Corozal, Sucre.

Género: Malvaceae

Familia: Sterculiaceae

Nombre común: Camajón

Nombre científico: *Sterculia apétala*

Sinónimos: cacahuito (Guajira), camajonduro (Bolívar, Córdoba), camajorú (Atlántico, Magdalena), camajao (Cundinamarca), piñón (Bolívar, Magdalena), tun-tun (Córdoba) camoruco, zapato, vara de indio en Venezuela,

Características: árbol que alcanza una altura hasta de 40m y un diámetro hasta de 2 m. tronco recto y cilíndrico, con aletones tablares bien desarrollados. Hojas simples, alternas, palmatilobuladas, bases cordadas, pecioladas y grandes. Flores de color amarillo y dispuestas en panículas terminales. Fruto polifolicular compuesto por 5 capsulas, las cuales contiene cada una de 2-5 semillas negras, cubiertas de pelos rígidos que irritan la piel. Crece en las formaciones vegetales: Bosque seco tropical y bosque húmedo a muy húmedo tropical.

Albura de color amarillo grisáceo, con transición gradual a duramen de color amarillo pálido, o marrón amarillento, algunas veces con líneas oscuras. Olor y sabor ausentes o no distintivos. Textura gruesa. Brillo mediano. Grano de recto a entrecruzado [46].

❖ *Cedrela Odorata L.* (Cedro)

Fig 4. Árbol de *Cedrela Odorata L.* (Cedro)



Fuente: Tomada Turbaco, Bolívar.

Género: Coníferas Pináceas.

Familia: Meliaceae

Nombre común: Cedro

Nombre científico: *Cedrela Odorata L.*

Sinónimos: *Cedrela angustifolia* Mocino & Sesse ex DC., *C. brounii* Loef. Ex D. Kize, *C. fissilis* Vellozo, *C. guianensis* A. Juss, *C. longipes* Blake, *C. mexicana* Roem, *C. mexicana* var. *puberula* DC, *C. occidentalis* DC. & Rose, *C. sinteisii* C. DC, *C. velloziana* Roem, *C. yucatanana* Blake, *Surcunus brounii* (Loefl. ex O. Ltz.) Ktze. Culche (Maya), Culche (México), Cedro colorado (El Salvador), Cedro real (Nicaragua), Cedro amargo, Cedro blanco, Cedro Cóbano (Costa Rica).

Características: La característica peculiar de esta especie es su corteza hendida a lo largo del fuste, de color oscuro hasta moreno rojiza, con partes de la superficie blanquecina y brillante; el tronco suele ser recto, esbelto y con pequeños contrafuertes en la base; las hojas al estrujarlas despiden un olor amargo parecido al de los ajos, característica que se extiende al sabor de la madera.

Los árboles muy jóvenes tienen su corteza lisa y ligeramente blanquecina, también típico de su aspecto, las inflorescencias son péndulas y presentan los frutos abiertos en el ápice cuando han dejado salir la semilla, lo que ayuda a identificar la especie, el cedro es una especie muy conocida debido a que por más de 50 años lo precioso de su madera, que se exporta a otros países, ha constituido una de las principales fuentes de trabajo para muchas personas. Sin divisiones interiores, muebles de lujo, gabinetes de primera clase, chapa plana decorativa, contrachapados, artículos torneados, cajas para joyas, instrumentos musicales, instrumentos científicos, fósforos, palillos, lápices. Mueblería en general, ebanistería, esculturas, artesanías finas, puertas talladas, paneles, armería, juguetes educativos, pisos, utensilios domésticos

[47].

❖ ***Hura Crepitans L. (Ceiba Blanca)***

Fig 5. Árbol de *Hura Crepitans L. (Ceiba Blanca)*



Fuente: Tomada en Corozal, Sucre

Género: Hura.

Familia: Euphorbiaceae

Nombre común: Ceiba blanca

Nombre científico: *Hura Crepitans L.*

Sinónimos: arenillero, arenillo, milpesos, tronador, Ceiba lechosa, amarilla lechosa, acuaparo, aosacio, castañeto, ceibo. Ceiba mil pesos. Ceiba de leche, habilla, salvadera. Jabillo, rasquiñoso y acuapá (Colombia); ochoó, assacú, Jabillo, ocho (Bolivia); catahua. Habilla, catahua amarilla y castaña (Perú); habillo, Somorona y veneno (Ecuador); assacu, uassacu, acau (Brasil); jabillo, habillo, Ceiba, javilla (Venezuela); Bois du diable (Isla de San Martín); Hurawood, Rakudar, Sandbox, Hura, Possum wood (Estados Unidos); Hura(G.B.); Sandbox (Trinidad y Tobago); Jabillo, Ovillo, Nune, Tronador, Javillo, Coquillo macho, Nuno, Haba (México); Possentrie, Cacuada, Possum (Surín.); Sablier (Guyana Francesa); Molinillo (Puerto Rico); Haba, Habillo, Javillo, Salvadera (Cuba.); Tetereta (Guatemala.); Javillo (Costa Rica).

Características: Árbol que alcanza una altura hasta de 40 m. y un diámetro hasta de 2.00 m. Tronco recto, cónico a cilíndrico, con la base abultada por raíces engrosadas. La corteza externa es de color pardo claro o grisáceo, de apariencia lisa y cubierta de espinas cónicas. La corteza interna es de color blanco cremoso que exuda un látex cáustico de sabor picante, peligroso para los ojos y la piel; además durante el aserrado ocasiona problemas al desafilar los dientes de las sierras. Las hojas son alternas, acorazonadas, crenadas, con pecíolo largo y con dos glándulas conspicuas en la unión del pecíolo al limbo. Flores masculinas en espigas cónicas, de color violeta y las femeninas en forma de disco de color rojo. El fruto es una cápsula discoidal que hace dehiscencia produciendo un fuerte ruido. Crece en las formaciones vegetales: Bosque húmedo premontano (bh-P) en transición a bosque húmedo tropical (bh-T) en suelos arcillosos húmedos bien drenados y asociado con las especies: *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Cedrela Odorata* L, (Cedro), *Aspidosperma sp.*, *Clarisia racemosa*, *Poulsenia armata*, *Ardisia cubana*, *Ficus glabrata* y *Virola sp.* Los usos actuales son carpintería de obra, cajonería liviana, muebles y canoas. [48]

4.3.7. Factores o variables que influye en el proceso de adsorción.

La cantidad y la distribución de tamaño de partículas de aserrín, el tiempo de contacto, el pH, la velocidad de agitación. Generalmente, la eficiencia de adsorción se ve incrementada con un aumento de la dosis del adsorbente, del tiempo de contacto, y de la velocidad de agitación, sin embargo esto puede diferir para diferentes materiales. El efecto del pH de la solución acuosa es considerado como uno de los factores que controla el proceso de adsorción [49].

4.3.8. Factores o variables que influyen en otros procesos.

En el estudio realizado al aserrín de *Ceiba Pentandra L*, para adsorber Diesel en Malaysia [53], se presentó una reducción del 30% de aceite en la solución. la superficie del aserrín

fue modificada al lavarse con cloroformo durante 8 horas y, luego se secó a 60°C por 24 horas. Se empleó un lecho empacado de 5g de aserrín en una solución de 200 ml y concentración de 0.04 g/ml, durante 10 min. En Singapur [56], analizaron la separación de agua y aceite, utilizando aserrín de Kapoc (Ceiba), para un tamaño de partícula de 1.5 mm, bajo condiciones establecidas de pH y un tiempo de 30 min, utilizando un lecho empacado con una longitud de 60 mm y densidad de 1.33 g/cm³, en un flujo continuo de 3.3 L/min a 21 °C. La superficie del aserrín fue modificada lavando con cloroformo por 15 minutos.

Diferentes estudios han modificado la superficie de los adsorbentes orgánicos, en Australia [29], se modificó la paja de la cebada, con hidróxido de sodio (NaOH). El experimento mantuvo un pH de 8, y se realizó en un proceso batch. La emulsión fue diseñada utilizando el detergente ajax como emulsificante y una agitación de 170 rpm,.

En España [27], se realizó un lecho filtrante de 26 mm, a base de aserrín de Eucalipto, en un sistema de flujo continuo, a una presión de 6 bar y un pH de 7,5. La concentración de la solución fue de 24000 mg/L.

En esta investigación se evaluó el potencial de adsorción de tres tipos de aserrines de una misma región, fundamentándose en dos tamaños de la partícula y dos dosis empleadas de aserrín, en un tiempo establecido de 10 min y un pH de 7.6.

5. METODOLOGÍA

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se llevó a cabo una investigación cuantitativa de tipo experimental, ya que se manipularon diferentes variables como tamaños de partículas y cantidades de aserrín, para medir el efecto de las mismas sobre el potencial de adsorción de aceites pesados.

La experimentación se realizó en frascos de vidrio (ver Fig. 6). Se mantuvo constante la cantidad de agua de mar y aceite Diesel empleado, siendo la concentración escogida de 20 mg/L debido a que es una concentración superior a la norma establecida de 10 mg/L por UNESCO [50].

Fig.6. Recipientes de la experimentación.



Fuente: Tomada en la presente investigación.

5.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

5.2.1. Fuentes de información primaria.

La información primaria constituyeron los datos de porcentaje de remoción de aceite, obtenidos mediante el método de Soxhlet y cromatografía de gases, realizadas en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Facultad Ciencias Farmacéuticas de la

Universidad de Cartagena. Estos ensayos sirvieron para establecer el efecto de la dosificación y el tamaño de partícula en los tres tipos de aserrines, en la eliminación de aceites de la solución sintética; y para caracterizar fisicoquímicamente cada tipo de aserrín.

5.2.2. Fuentes de información secundarias.

Las fuentes secundarias, consistieron en artículos científicos, tesis, fichas técnicas y textos académicos recopilados de diferentes bases de datos como Science Direct, Search Ebcost facilitados por la Biblioteca Fernández Madrid de la Universidad de Cartagena. El análisis de estas fuentes bibliográficas sirvió para establecer la metodología utilizada para la evaluación del potencial de adsorción, y el protocolo más apropiado, que se siguió durante el método Soxhlet y cromatografía de gases.

5.3.MUESTRA

Se trabajó con tres tipos de aserrines (ver Tabla 1): *Sterculia apétala*, *Hura Crepitans L.*, *Cedrela Odorata L*, recolectados el día 13 y 19 de abril del año 2012, en Corozal, Sucre y Cartagena, Bolívar, respectivamente. En la experimentación se utilizaron 12 frascos que contenían cada uno 400 ml de solución sintética de agua de mar proveniente de las playas de Marbella y diesel, es decir, se necesitó un total de 4.8 litros de agua de mar y 20 g de Diesel. Las condiciones iniciales del agua de mar aparecen en la Tabla 2.

Tabla 1. Tipos de adsorbente utilizados.

Nombre Científico	Nombre Común	Procedencia
<i>Cedrela Odorata L</i>	Cedro	Turbaco, Bolívar
<i>Hura Crepitans L</i>	Ceiba Blanca	Corozal, Sucre
<i>Sterculia Apétala</i>	Camajón	Corozal, Sucre

Fuente: realizada en la presente investigación.

Tabla 2. Condiciones iniciales del agua de mar

Parámetro	Valor	Equipo utilizado
pH	5.93	Multiparámetro 900 Bante Instrument
Dureza (mg CaCO ₃ /l)	6121 mg/L	Complejometría con EDTA (0.01 M)

Fuente: Realizada en la presente investigación.

El diesel (ver Tabla 3) empleado, fué comprado en una estación de Texaco ubicada en la Avenida Pedro de Heredia en Cartagena, Bolívar el 25 de mayo de 2012. Es seleccionado para realizar la experimentación debido a que presenta una volatilidad relativamente baja, lo que reduce en lo más mínimo los cambios transitorios de temperatura, para la no afectación de sus características químicas y físicas durante la experimentación. De igual forma posee una composición química uniforme. Este tipo de aceite representa hidrocarburo pesado. La investigación tuvo una duración de 8 meses.

Tabla 3. Propiedades del adsorbato (diesel)

Densidad	832 kg/m ³
Poder calorífico	43,10 mj/kg
Porcentaje de carbono	81%
Viscosidad cinemática	3,2cst
Azufre	250 ppm
Agua	120 ppm

Fuente: realizada en la presente investigación.

5.4.VARIABLES: V. Independientes, V. Dependiente, V. Interviniente.

5.4.1. Operacionalización de las variables.

Las variables del diseño experimental se presentan en la Tabla 4, y contiene una variable dependiente, dos independientes y 6 variables intervinientes.

Tabla 4. Variables del diseño experimental

Tipo de Variables	Variable	Definición	Unidades
Dependientes	Cantidad de Diesel adsorbido	Cantidad de unidades de la sustancia o agente que hay por cada millón de unidades del conjunto	mg/L
Independientes	Tamaño de partícula [51,52]	Conjunto de dimensiones de una partícula que define su volumen en el espacio. Pasado por un tamiz	mm
	Cantidad de aserrín [6, 10,12,13, 53, 54, 57]	Cantidad de Biomasa utilizada.	g
Intervinientes	Tiempo [3, 40, 55]	Magnitud física que mide la duración o separación de un suceso, sujeto a cambio.	min
	Temperatura[53]	Contenido de la energía interna de las moléculas.	°C
	pH.	Nivel de acidez o alcalinidad.	Unidad de pH
	Concentración de la solución	Relación de miligramos de aceite por volumen de solución	mg/L
	Volumen de la muestra.[53]	Cantidad de espacio ocupado por la muestra.	ml
	Tipo de hidrocarburo. [53,56]	Compuestos que contienen sólo carbono e hidrógeno.	NA

Fuente: Realizada en la presente investigación.

5.5.DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de bloques al azar en disposición factorial de 3 x 2 x 2, con las siguientes características:

Tres tipos de aserrines: *Sterculia apétala*, *Hura Crepitans L.* y *Cedrela Odorata L*

Dos tamaños de partículas: 2 mm y 1 mm

Dos cantidades de aserrín: 2 g y 5 g.

Obteniendo un número de experimentos = 12.

Se optó por estos factores porque según la literatura, desempeñan un papel preponderante durante el proceso de adsorción, y se evaluó cuál tipo de aserrín ofrece mayor rendimiento. En lo concerniente a la dosis de aserrín y al tamaño, las cantidades estudiadas se tomaron teniendo en cuenta datos reportados en la mayoría de los casos consultados, las cuales, por lo general se encontraban en un intervalo de 2 g y 5 g [6, 10, 12, 13, 53, 54, 57], y un tamaño de partícula de 1 mm y 2 mm [51, 52].

Tabla 5. Diseño de experimento.

Variables Tipo de Aserrín	Cantidad de aserrín empleado (2 g)		Cantidad de aserrín empleado (5 g)	
	Tamaño de la Partícula de aserrín		Tamaño de la Partícula de aserrín	
	1mm	2 mm	1mm	(2 mm)
Camajón (<i>Sterculia apétala</i>)				
Cedro (<i>Cedrela Odorata</i>)				
Ceiba Blanca (<i>Hura Crepitans L.</i>)				

Fuente: Realizada en la presente investigación.

Las variables tomadas como constantes son: la temperatura, el volumen de la solución sintética, concentración de la solución y pH. Luego, con los resultados obtenidos se hizo un análisis de sensibilidad usando el programa Statgraphics Centurion XV, para saber el orden en que se realizaría los ensayos experimentales:

El StatAdvisor

Se creó un diseño experimental, el cual estimará los efectos de 3 factores categóricos. El empleado es un diseño factorial estándar que consiste en todas las combinaciones de los niveles de los factores. Hay un total de 12 corridas en el diseño.

El programa arrojó el siguiente orden de experimentos:

BLOQUE	Aserrines	Tamaños	Cantidad
Orden de los ensayos		mm	Gramos
1	<i>Cedrela Odorata L</i>	2	2
2	<i>Cedrela Odorata L</i>	2	5
3	<i>Cedrela Odorata L</i>	1	2
4	<i>Cedrela Odorata L</i>	1	5
5	<i>Sterculia Apétala</i>	2	5
6	<i>Sterculia Apétala</i>	1	5
7	<i>Sterculia Apétala</i>	1	2
8	<i>Sterculia Apétala</i>	2	2
9	<i>Hura Crepitans L.</i>	1	5
10	<i>Hura Crepitans L.</i>	2	2
11	<i>Hura Crepitans L.</i>	1	2
12	<i>Hura Crepitans L.</i>	2	5

5.6. EQUIPOS

5.6.1. Tamizadora

Una vez preparado el adsorbente, se seleccionó el tamaño por medio de los tamices N°18 (1 mm) y N° 20 (2 mm), en la tamizadora de marca EDIBON QMS 0005108 (Ver Figura 7) del Laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena

Fig.7. Tamizadora



Fuente: Tomada en la presente investigación.

5.6.2. Horno

Para el secado de las muestras de aserrín, se empleó el horno de convección forzada de marca ESCO ISORTERM (ver Fig. 8) del Laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena.

Fig. 8. Horno



Fuente: Tomada en la presente investigación.

5.6.3. Soxhlet

Los materiales que se utilizaron en el equipo de extracción Soxhlet (ver fig. 9) fueron los siguientes:

- ❖ Soporte largo con aro y pinzas
- ❖ Tubos de goma para agua.
- ❖ Refrigerante de bolas
- ❖ Cartucho de papel para Soxhlet.
- ❖ Disolvente: Cloroformo.
- ❖ Matraz de una boca.
- ❖ Cuerpo del soxhlet.29/32
- ❖ Manto calefactor: EMX and EMV series; 10 - 5000 ml, max. 450 °C
- ❖ Refrigerante de bolas

Fig. 9. Equipo Soxhlet



Fuente: Tomada en la presente investigación.

5.6.4. Cromatógrafo de Gases

El cromatógrafo de gases utilizado en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Facultad Ciencias Farmacéuticas de la Universidad de Cartagena tiene como referencia GILENT 4890D (ver fig.10). Este dispositivo consta de las siguientes partes:

1. Partes visibles del equipo.

- ❖ Gas portador.
- ❖ Regulador de presión.
- ❖ Microjeringa de 10 μ L.
- ❖ Horno termostatzado.
- ❖ Ordenador o computador.

2. Partes no visibles:

- ❖ Serpentín.
- ❖ Registrador.
- ❖ Detector.
- ❖ Puente o electrómetro.

Fig. 10. Equipo de cromatografía de gases



Fuente: Tomada en la presente investigación.

5.6.5. Infrarrojo

El infrarrojo (Ver figura 11), está configurado con los siguientes componentes:

- Una fuente de radiación: un láser de He-Ne en los equipos moderno
- Un portamuestra y blanco: las paredes del contenedor de la muestra deben ser transparentes a todo el rango de la radiación ($4000-600\text{ cm}^{-1}$).
- Una rejilla o monocromador: es un espejo reticulado que equivale a un prisma capaz de descomponer el espectro de la radiación en sus diferentes longitudes de onda.
- Un detector.
- Un CPU con pantalla, impresora y teclado lo que permite fácilmente ampliar o reducir zonas específicas del espectro.

Fig. 11. Equipo Infrarrojo



Fuente: http://www.cenm.org/sp/eq_espec2.htm

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Docencia e investigación de la Universidad del Valle

5.7.PROCEDIMIENTO

5.7.1.Preparación de los adsorbentes

El adsorbente empleado fue aserrín de tres tipos de madera de la costa Caribe de distintos tamaños cada uno. La muestra se separó por tamizado con la finalidad de establecer y elegir tamaños de partículas apropiados para trabajar en los ensayos, empleándose dos tamaños de partículas. Como pretratamiento, el aserrín se lavó varias veces con agua destilada hasta que el color marrón del agua desapareciera, y se secó a 80°C durante 24 horas, quedando preparado para su utilización en los experimentos y mediante espectroscopia infrarroja se hizo su respectiva caracterización para determinar sus grupos funcionales [3].

5.7.2.Caracterización del adsorbente

Para la caracterización del adsorbente, se emplea el equipo de espectro infrarrojo, que es un instrumento que permite la obtención de espectros de infrarrojos de una manera más rápida que los clásicos espectros de barrido. Para la preparación de la muestra, cada aserrín seco, se mezcla con KBr (20 mg) en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino. Las proporciones de muestra a KBr pueden variarse y ello constituye uno de los pasos a optimizar en el procedimiento.

Una pequeña porción del polvo obtenido, se coloca en un portador de muestra para preparar pastillas empleando para ello, una prensa. Las pastillas, que debe ser homogénea y finísima, se colocan en una placa para muestras.

En primer lugar, se realiza un blanco sin muestra porque de esta manera se tendrá en cuenta el efecto del aire o del medio presente entre la muestra y la interface. Una vez la muestra se ha preparado y colocado en su portamuestras, se inserta en el espectrómetro. Debe

calentarse (70°C) con anterioridad la superficie del equipo a la temperatura necesaria para la muestra.

El espectro de cada muestra se corre bajo diferentes condiciones de temperatura hasta la obtención del mejor espectro el cual debe presentar en lo posible bandas finas e intensas.

5.7.3. Determinación de la cantidad de aceite adsorbido.

En cada frasco de vidrio, se procedió a verter la solución preparada de aceite pesado y agua de mar, se agregó una dosis de 2 y 5 g [6, 10, 12, 13, 53, 54, 57], y el tamaño de partícula de 1 y 2 mm, correspondiente a cada experimento, los cuales no se realizaron en sistemas continuos, para cada tipo de aserrín se mantuvo un tiempo máximo de contacto de 10 minutos [3, 40, 55] y un pH de 7.6. Una vez finalizado el tiempo, se retiró el aserrín de la solución, se dejó escurrir y se procedió a hacer el análisis Soxhlet correspondiente, para verificar la efectividad del aserrín, empleado.

Al finalizar cada experimento, se retiró la cantidad de aserrín contenido en el recipiente. Se realizaron 12 pruebas Soxhlet, donde se colocó el solvente en un balón, en nuestro caso cloroformo [53, 56], que se calentó hasta llegar a su punto de ebullición (62°C), donde se evapora hasta un condensador a reflujo; el condensado cae sobre un recipiente que contiene un cartucho poroso constituido por papel filtro con la muestra de aserrín impregnada de Diesel en su interior. El ascenso del nivel del solvente cubre el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo y desciende el solvente con el material extraído al balón. Se repite este proceso la cantidad de veces necesaria para que la muestra quede agotada y lo extraído se va concentrando en el balón del solvente.

- **Cromatógrafo de gases**

Se inyecta una cantidad igual a 5 µL para cada muestra, medidos con la microjeringa, al septum del equipo. La muestra es evaporada en el horno termostatzado e impulsada a través del serpentín interno, por un gas portador, el cual debe ser inerte, en este caso se utilizó nitrógeno.

La muestra impulsada se decodifica en señales eléctricas en un detector, el cual manda dichas señales a un puente o electrómetro, y este a su vez las redirige hacia el computador, en donde dichas señales se muestran como picos. Para determinar la concentración de aceite en cada muestra, se hicieron patrones del diesel a diferentes concentraciones, y se escoge el pico más característico del diesel para hacer la comparación.

El porcentaje de remoción se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ _remoción} = \frac{\text{cant_removida}}{20 \text{ ppm}} \times 100, \quad (\text{Ec. 4})$$

ppm = partes por millón.

Cant_removida = Cantidad removida en partes por millón.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES

La *Sterculia apétala*, *Hura Crepitans L.* utilizadas en este estudio, son originarias de Corozal, Sucre y la *Cedrela Odorata L* de Turbaco, Bolívar. Se le retiraron suciedades como polvos y grumos para garantizar la frescura de la materia prima.

6.1.1. Caracterización de *Sterculia Apétala* (Camajón).

❖ Propiedades Físicas

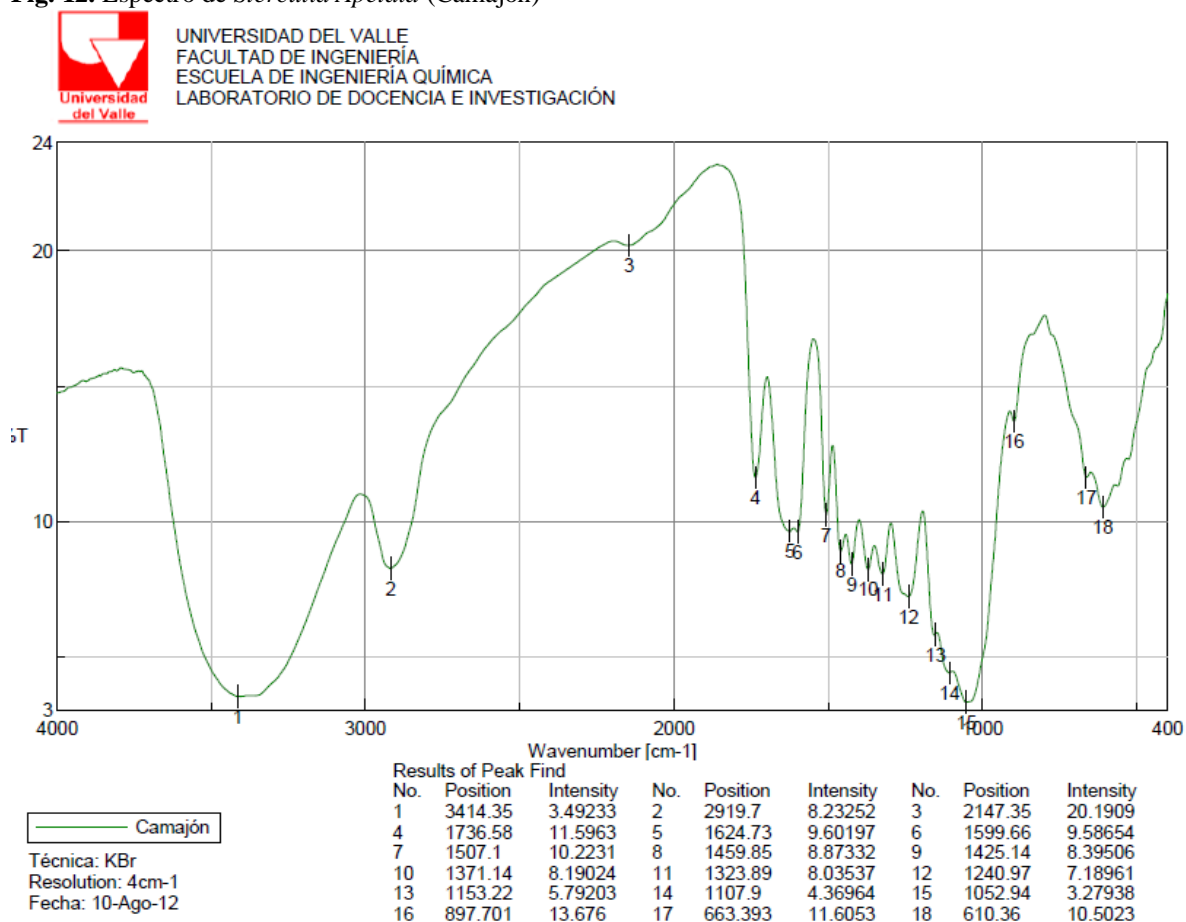
- **Olor:** sin olor característico
- **Sabor:** indistinto
- **Color:** la albura se torna amarillo pálido y el duramen pardo claro o amarillo rojizo
- **Brillo:** medio.
- **Poros:** Ligeramente visibles
- **% de Humedad:** 79.12%



❖ Propiedades Químicas

Para identificar los compuestos químicos, se analizó el espectro de *Sterculia Apétala* (Camajón), obtenidos por FTIR. Las bandas de adsorción de los grupos químicos característicos de la composición del aserrín se puede observar en la Fig. 12.

Fig. 12. Espectro de *Sterculia Apétala* (Camajón)



Fuente: Universidad del Valle

A continuación se explica cada posición:

Nº 1 (3414.35 cm⁻¹): El rango entre 3600-3100 cm⁻¹, se atribuye a la asociación polimérico del grupo hidroxilo y la vibración producida por el grupo OH de estiramiento, existente en carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) y lignina.

Nº 2 (2919.7 cm⁻¹): Las bandas de 2880 a 2975 cm⁻¹, se relaciona con metileno en la conocida zona de CH, este compuesto se da por la polaridad del enlace y por la hibridación del carbono, es un grupo funcional bivalente de CH₂, con una intensidad de adsorción fuerte. La presencia de estos hidrocarburos como alcanos, ácidos grasos, alcoholes de alta

masa molecular, aldehídos, cetonas y N-alquil-ésteres, confirman la presencia de cera vegetal, sustancia hidrofóbica, que favorece la interacción con compuestos apolares.

Nº 3 (2147.35 cm⁻¹): Las bandas alrededor de los 2150 cm⁻¹, se relacionan con aldehídos, de grupo funcional –CHO, dentro de la zona de CH. Dentro de esta zona la intensidad del compuesto define el grupo siendo el aldehído para una intensidad alta.

Nº 4 (1736.58 cm⁻¹): Se relaciona con ésteres de grupo funcional COO, específicamente con el éster carbónico debido a la intensidad de adsorción media-baja del grupo COOO, estos compuestos se revelan por la presencia del grupo carbonilo CO, en esta zona el tipo de compuesto depende del sustituyente y son derivados de los ácidos orgánicos e inorgánicos.

Nº 5 (1624.73 cm⁻¹): Esta banda corresponde al grupo C=C conjugados, con anillos de benceno presentes, con una intensidad de adsorción fuerte, ocasionada por el anillo de benceno. Material presente en la cera vegetal y en el caucho.

Nº 6 (1599.66 cm⁻¹): Se relaciona con la presencia de dienos conjugados (C=C), debido a las vibraciones realizadas por el grupo CO de estiramiento, con una intensidad de adsorción fuerte. Este material está presente en la cera vegetal.

Nº 7 (1507.1 cm⁻¹): Se relaciona con la presencia de aldehídos alifáticos de grupo funcional CHO, por las vibraciones del grupo CO de estiramiento en lignina, característicos de esta zona en la zona de carbonilos, con intensidad de adsorción débil.

Nº 8 (1459.85 cm⁻¹): Se relaciona con CO de estiramiento, en compuestos como aldehídos con anillos de benceno, estos compuestos se forman dependiendo del sustituyente, la presencia del doble enlace presente en el grupo carbonilo manifiestan una intensidad de adsorción baja.

N° 9 (1425.14 cm⁻¹): Se relaciona con el grupo cetonas, en específico las quinonas, este compuesto se denota por la presencia del grupo carbonilo CO y el grupo benceno con modo de tensión C=C, con enlaces dobles en el grupo e intensidad de adsorción media

N° 10 (1371.14 cm⁻¹): Se relaciona con la compuestos que presenten grupo funcional CH₃, tales como los alcanos, la intensidad de adsorción es de media a fuerte determinada por la fuerza del enlace, la isomería de los compuestos incrementa la intensidad de la señal, compuestos como isobutilo e isopropilo están presentes.

N° 11 (1323.89 cm⁻¹): Hace referencia a compuestos que presentan un enlace carbono-nitrógeno dentro de su grupo funcional, puede variar dependiendo de la configuración en ácidos carboxílicos o aminas.

N° 12 (1240.97 cm⁻¹): Se relaciona con la de éteres por la vibración del grupo carboxilo, presentan una intensidad de adsorción fuerte, dadas por la hibridación sp³ del carbono presente en la molécula. Son bastante hidrófobos y no tienden a ser hidrolizados.

N° 13 y 14 (1153.22 cm⁻¹ y 1107.9 cm⁻¹): Los bandas encontrados entre 1190 y 1050 cm⁻¹, se encuentran dentro de la región de carbohidratos o polisacáridos, pueden presentar el grupo funcional cetona, aldehído u OH (hidroxilo o alcohol), los de más alto peso molecular son insolubles en agua.

N° 15 (1052.94 cm⁻¹): Se encuentra alrededor de 1030 cm⁻¹ se relaciona con el (CO) y (OH) estirar las vibraciones que pertenecen al polisacárido en celulosa.

N° 16 (897.701 cm⁻¹): Se atribuye a la presencia de β-glicosídicos entre los monosacáridos.

N° 17 (663.393 cm⁻¹): Esta banda corresponde a alquenos cis-disustituidos, con intensidad de adsorción fuerte, característica de estos grupos por la simetría de la molécula.

N° 18 (610.36 cm^{-1}): Dicha banda se encuentra en la zona de halo alcanos C-X, hace referencia a los bromo alcanos, los sustituyentes son los que marcan la intensidad de adsorción de la banda en este caso es débil.

6.1.2. Caracterización de *Hura Crepitans L.* (Ceiba Blanca).

❖ Propiedades Físicas

- **Olor:** sin olor característico
- **Sabor:** indistinto
- **Color:** puede presentar o no marcación entre albura y duramen, albura de color blanco, transición gradual a duramen de color amarillo claro.
- **Brillo:** bajo.
- **Poros:** ligeramente visibles a simple vista, porosidad difusa, poros de poca abundancia.
- **% de Humedad:** 80.15%



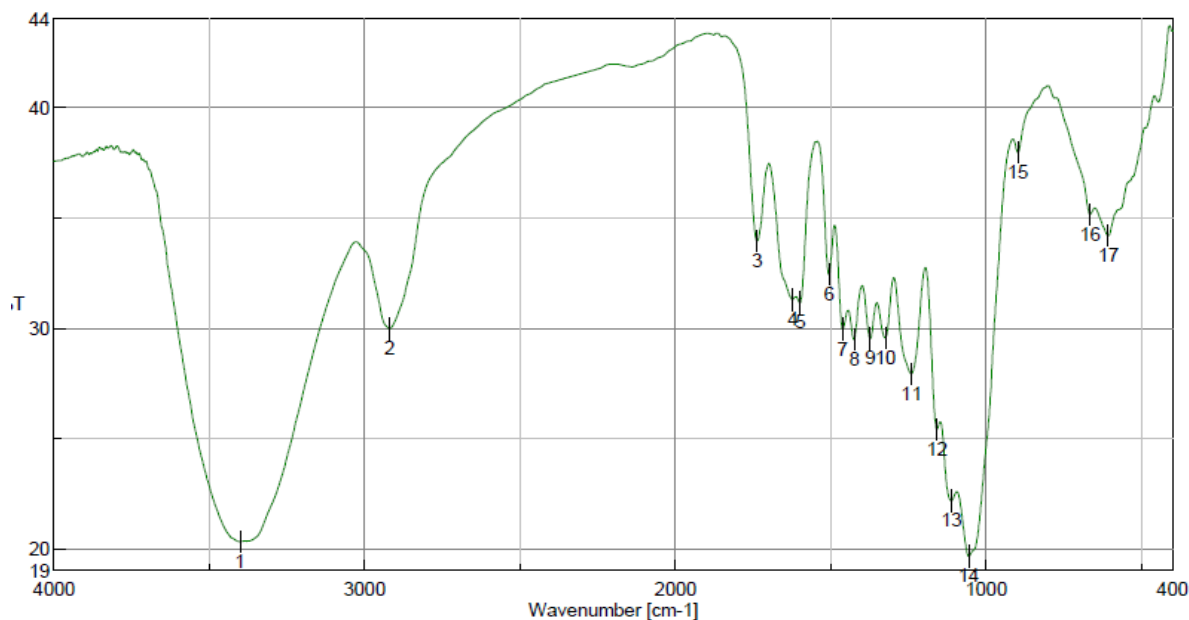
❖ Propiedades Químicas:

El análisis infrarrojo (FTIR) nos muestra la composición del aserrín de *Hura Crepitans L.*, en base a los grupos funcionales, arrojando los siguientes resultados mostrados en la Figura 13.

Fig. 13. Espectro de *Hura Crepitans L.* (Ceiba Blanca).



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN



— Ceiba blanca

Técnica: KBr
Resolution: 4cm-1
Fecha: 10-Ago-12

Results of Peak Find

No.	Position	Intensity	No.	Position	Intensity	No.	Position	Intensity
1	3401.82	20.3177	2	2920.66	29.9494	3	1737.55	33.9174
4	1622.8	31.2609	5	1598.7	31.1254	6	1506.13	32.4022
7	1461.78	29.9348	8	1425.14	29.4621	9	1373.07	29.511
10	1324.86	29.5382	11	1240.97	27.9118	12	1158.04	25.4042
13	1111.76	22.1619	14	1055.84	19.6473	15	897.701	37.9345
16	665.321	35.1292	17	606.503	34.1664			

Fuente: Universidad del Valle

Seguidamente, se desarrolla las posiciones del espectro:

N°1 (3401.82 cm⁻¹): La vibración de estiramiento del enlace O-H aparece alrededor de los 3400 cm⁻¹. Es una absorción intensa y amplia (desde 3600 hasta 3200 cm⁻¹ aproximadamente), y se manifiestan con una banda roma, característica entre los 3500 y 3200 cm⁻¹, el cual puede verse reflejado en ácidos grasos, estas se encuentran divididas en dos regiones, una apolar hidrófoba que repele el agua, e interactúa con compuestos apolares como aceites, y una polar hidrófila que interactúa con esta.

N°2 (2920.66 cm⁻¹): Los picos alrededor de 3000 cm⁻¹, indican hidrocarburos alifáticos simétricos y asimétricos (CH₂) y de estiramiento (CH₃). La presencia de estos hidrocarburos como alcanos, ácidos grasos, alcoholes de alta masa molecular, aldehídos, cetonas y N-alkil-ésteres, confirman la presencia de cera vegetal, sustancia insoluble en agua, que favorece la interacción con compuestos apolares

N°3 (1737.55 cm⁻¹): Corresponde a ésteres –COOR con modo de tensión C=O, la posición **N°4 (1622.8 cm⁻¹):** Pertenece a olefinas con un modo de tensión C=C. Las bandas alrededor de 1510 cm⁻¹ (**N°5 (1598.7)**, **N°6 (1506.13 cm⁻¹)**, **N°7 (1461.78 cm⁻¹)** **N°8 (1425.14 cm⁻¹)**), corresponden a CO estiramiento en lignina.

N°9 (1373.07 cm⁻¹): Corresponde a la presencia de la superficie de cera. **N°10 (1324.86 cm⁻¹)** hace referencias a enlaces C-C, y se pueden hallar alcoholes, éteres, ésteres ácidos carboxílicos, anhídridos. El punto **N°11 (1240.97 cm⁻¹)**, se relaciona al modo de tensión C-O estiramiento de grupo acetilo asociado con la presencia de cera vegetal.

N°12 (1158.04 cm⁻¹): Hace referencia a los grupos COC, CCO and CCH de deformación y de estiramiento, presentes en compuestos como los anillos de gluco-piranos. El pico **N°13 (1111.76 cm⁻¹):** Es característico del grupo hidroxilo o alcohol O-H. La banda a **N°14 (1055.84 cm⁻¹)** es concerniente con C-O estiramiento y está asociado con la presencia de celulosa, hemicelulosa y lignina.

N°15 (897.701 cm⁻¹): Se muestran las vibraciones asociadas al sistema olefínico tipo gem-di-sustituidas, Las vibraciones de doblaje fuera del plano dan lugar a bandas intensas de baja energía en la zona 1000-650 cm⁻¹. El punto **N°16 (665.321 cm⁻¹)**, se relaciona con alquenos di sustituido, 2-propeno, debido a una intensidad de adsorción de carácter fuerte.

N°17 (606.503 cm⁻¹): Hace referencia a iodos-alcanos, este pico se encuentra en la zona de halo alcanos C-X, los sustituyentes iodo marca la intensidad de esta banda, se diferencia del bromo por presentar una intensidad de adsorción media.

6.1.3. Caracterización de *Cedrela Odorata L.* (Cedro)

❖ Propiedades Físicas

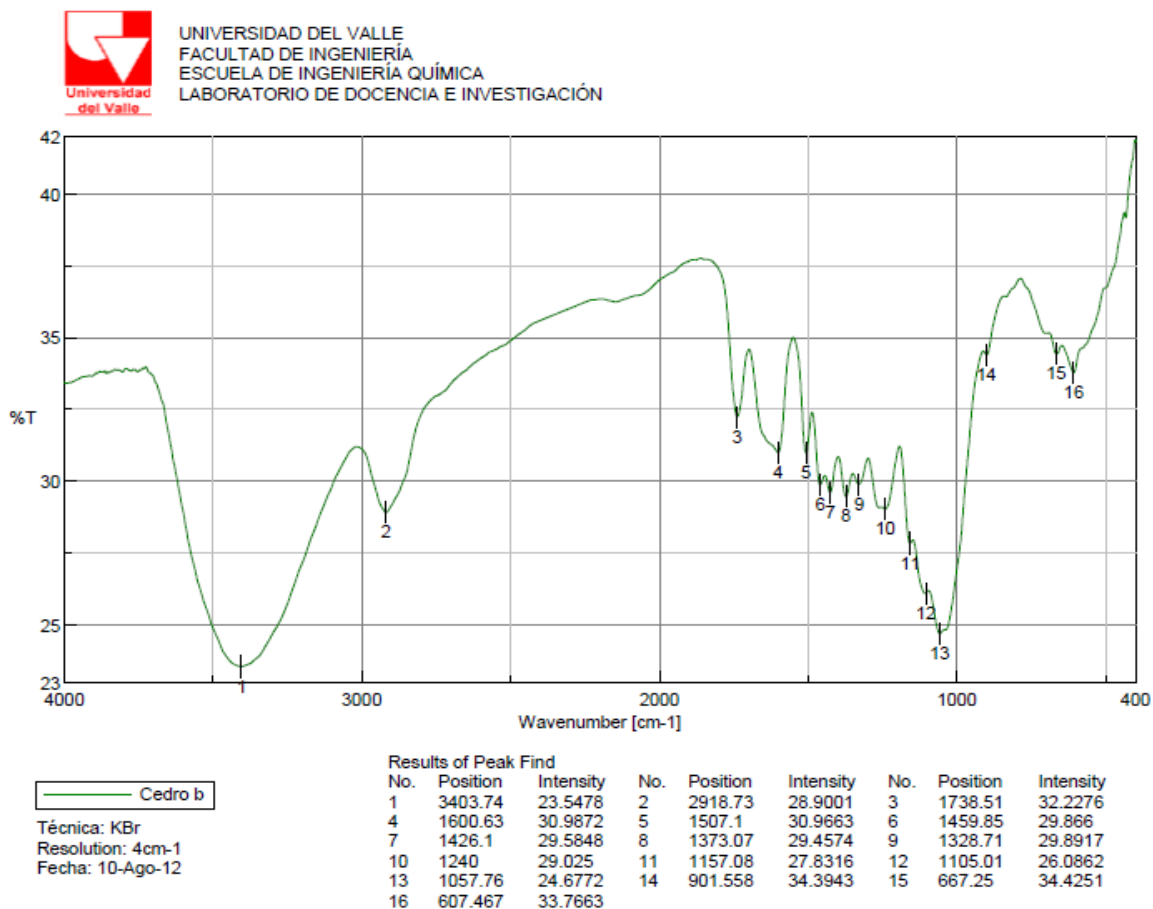
- **Olor:** agradable muy característico.
- **Sabor:** desagradable, levemente amargo.
- **Color:** coloración parda rojiza grisácea.
- **Brillo:** bajo.
- **Poros:** difusos
- **% de humedad:** 79.89%



❖ Propiedades Químicas

A continuación, en la Figura 14 se ilustra, las bandas características de los grupos químicos de *Cedrela Odorata L.*, por medio de un análisis FTIR, realizados en la Universidad del Valle en el Laboratorio de Docencia e investigación de Ingeniería Química.

Fig 14. Espectro *Cedrela Odorata L.* (Cedro)



Fuente: Universidad del Valle.

Consecutivamente, se estudia cada posición:

N°1 (3403.74 cm⁻¹): Se relaciona con ácidos carboxílicos concentrados, determinado por las vibraciones del grupo OH, la presencia de estos compuestos se da por la facilidad del enlace entre los grupos carboxilo (CO) y el hidrogeno (H), el cual puede verse reflejado en ácidos grasos, estas se encuentran divididas en dos regiones, una apolar hidrófoba que repele el agua, e interactúa con compuestos apolares como aceites, y una polar hidrófila que interactúa con esta.

N°2 (2918.73 cm⁻¹): muestra un canal bien pronunciado, que corresponde a CH₂ alifáticos simétricos y asimétricos y CH₃ de estiramiento. Esto puede estar asociado con la presencia

de cera vegetal, que consiste generalmente de n-alcanos, una pequeña porción de alcoholes, ácidos grasos, aldehídos, cetonas y N-alquil-ésteres

N°3 (1738.51 cm^{-1}): Se relaciona con ésteres y lactonas de grupo funcional COO, estos compuestos se revelan por la presencia del grupo carbonilo CO, en esta zona el tipo de compuesto depende del sustituyente y la intensidad de adsorción media, los ésteres son derivados de los ácidos orgánicos e inorgánicos

N°4 (1600.63 cm^{-1}): Banda con presencia de dienos conjugados (C=C), con una intensidad de adsorción fuerte. Pueden encontrarse estos compuestos debido a cambios en el grupo CO de estiramiento. Este material está presente en la cera vegetal.

N°5 (1507.1 cm^{-1}): Se vincula con la presencia de aldehídos alifáticos por las vibraciones del grupo CHO, en la zona de carbonilos, con intensidad de adsorción débil.

N°6 (1459.85 cm^{-1}): Hace referencia al grupo metilo (CH_3), compuesto que se presenta por el enlace alquilo C-H, con simetría tetraédrica e intensidad de adsorción fuerte. Este grupo funcional es de carácter hidrófobo.

N°7 (1426.1 cm^{-1}): Representa el grupo cetonas, este compuesto se denota por la presencia del grupo carbonilo CO, con enlaces dobles en el grupo e intensidad de adsorción media, debido al doble enlace, lo que lo diferencia de los ácidos carboxílicos, aldehídos, ésteres, etc.

N°8 (1373.07 cm^{-1}): Asignada a la familia de alcanos con grupo funcional CH_3 con una intensidad de bandas fuerte con un modo de tensión C-H simétrico. La presencia de grupo isopropilo se detecta por la aparición de un doblete simétrico.

N°9 (1328.71 cm^{-1}): Hace referencia al compuesto ácidos carboxílicos por las vibraciones del grupo COOH, regidas por el grupo carbonilo, lo que denota este grupo funcional es que

la intensidad de adsorción es débil, aunque al presentarse sustituyentes se pueden generar compuestos como las aminas alifáticas con un estiramiento en el enlace C-N.

N°10 (1240 cm⁻¹): Es relativa a la vibración (CO) de los ésteres, éteres y grupos fenólicos atribuirse a la presencia de cera en la superficie de la fibra.

N°11 (1157.08 cm⁻¹): Se relaciona con alcoholes terciarios, debido a la baja energía de adsorción del grupo OH, intensidad de adsorción débil, por la unión del grupo hidroxilo a un carbono terciario. Los **N°12 (1105.01 cm⁻¹)** y **N°13 (1057.76 cm⁻¹)** corresponden a alcoholes primarios, debido a la alta energía de adsorción del grupo OH, intensidad de adsorción fuerte, por la unión del grupo hidroxilo a un carbono primario. Esto se genera por el modo de tensión de CO, cuando se presentan vibraciones de estiramiento. Son comunes en alcoholes, fenoles y éteres.

N°14 (901.55 cm⁻¹): Hace referencia al grupo alquenos mono sustituidos, en específico al buteno, por las vibraciones del grupo C=CH₂ esta clase de compuestos se da dependiendo del patrón de sustitución, con una intensidad de adsorción de carácter medio.

N°15 (667.25 cm⁻¹) y **N°16 (607.46 cm⁻¹):** Son características de los alquinos, la vibración de deformación C_{sp}-H, aparece como una banda fuerte y ancha entre los 700 y 600 cm⁻¹ con intensidad media.

La Tabla 6 resume lo más importante de la química del aserrín, para su comportamiento como adsorbente del aceite pesado.

Tabla 6. Resumen de los FTIR

Adsorbentes	Celulosa	Lignina	Intensidades
<i>Cedrela Odorata L</i>	Alrededor de los 3400 cm ⁻¹ (OH).	Entre 1600 y 1030 cm ⁻¹	Alta
<i>Sterculia Apétala</i>			Alta
<i>Hura Crepitans L</i>			Baja

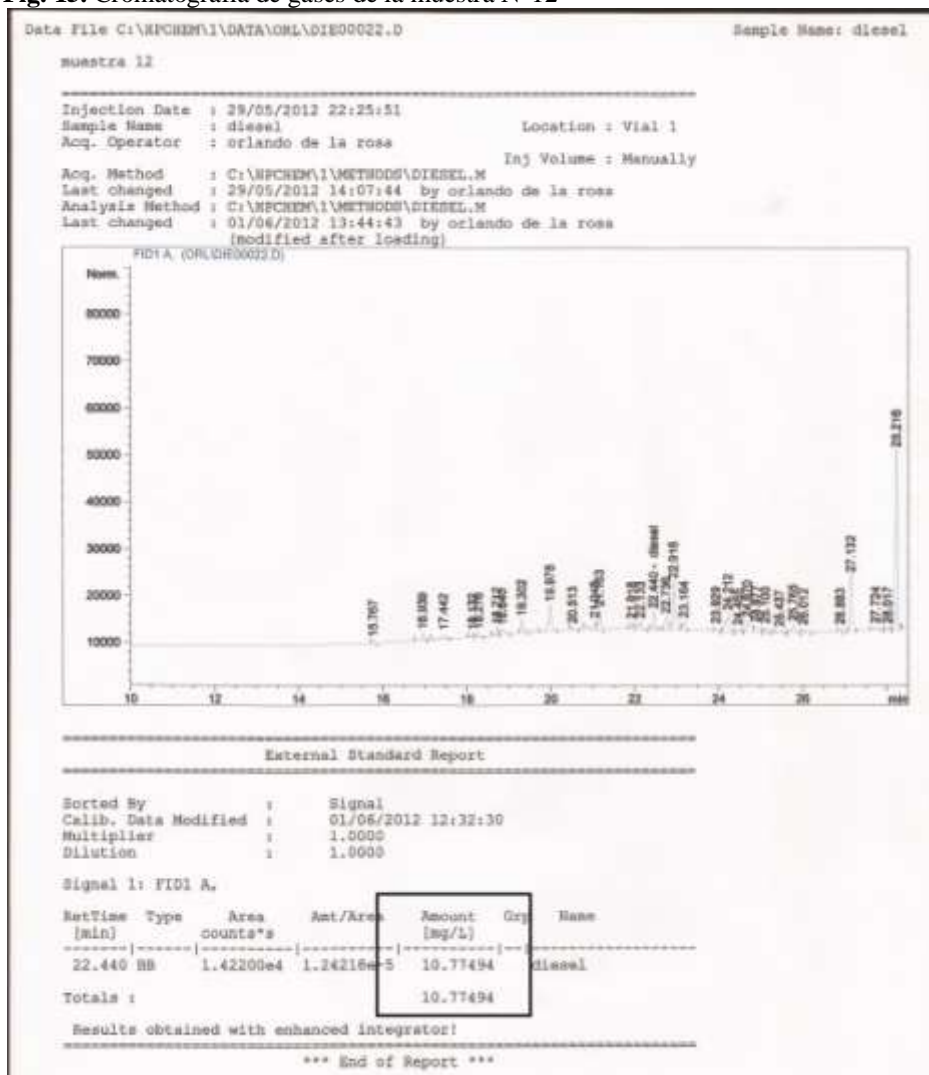
Fuente: Realizada en la presente investigación

El análisis FTIR enseña las dos zonas más representativas de los aserrines, una hidrofílica (afinidad con el agua) y la zona hidrofóbica que repele el agua, en este caso lo referente a la lignina y celulosa. Las intensidades de absorbencia indican que entre más alta estén, más concentrada estará la zona de compuestos, por ejemplo, para una intensidad alta en la zona hidrofóbica, implica una mayor presencia de ciertos compuestos como ácidos grasos, ceras vegetal; y para la zona hidrofílica una intensidad baja indican que es mucho más conveniente para la remoción de aceites ya que no adsorbe agua, por ende, es pertinente afirmar que el más hidrófobo es el *Cedrela Odorata L.* pues, mediante el análisis cualitativo de los espectros de FTIR, la lignina identificada en los puntos 1600, 1460, 1420, 1330, 1270 y 1030 cm^{-1} y la celulosa alrededor del punto 3400 cm^{-1} , están presentes en una mayor concentración que los otros dos aserrines.

6.2.CAPACIDAD DE ADSORCIÓN Y REMOCIÓN DE DIESEL.

Los resultados de las pruebas de cromatografía, muestran en mg/L la cantidad removida como se puede observar en la figura a continuación. Las demás cromatografías se encuentran en Anexos A.

Fig. 15. Cromatografía de gases de la muestra N°12



Fuente: realizada en la presente investigación.

La capacidad de adsorción de los tres tipos de aserrines: *Cedrela Odorata L* (Cedro) *Sterculia Apétala* (Camajón) y *Hura Crepitans L* (Ceiba Blanca) después de realizar las pruebas de cromatografía de gases, se muestran en la Tabla 7, donde se concluye que se obtuvieron los resultados esperados puesto que, el mejor adsorbente resultó ser el aserrín de *Cedrela Odorata L*, con un porcentaje de remoción del 58,49% (N° 4) con una cantidad de 5 g y un tamaño de partícula de 1mm y, muy cercano, bajo las mismas condiciones se encuentra el aserrín de *Hura Crepitans L* obteniendo resultados de un 58,13% (N° 9) de cantidad de remoción, como se predijo en los análisis FTIR realizados.

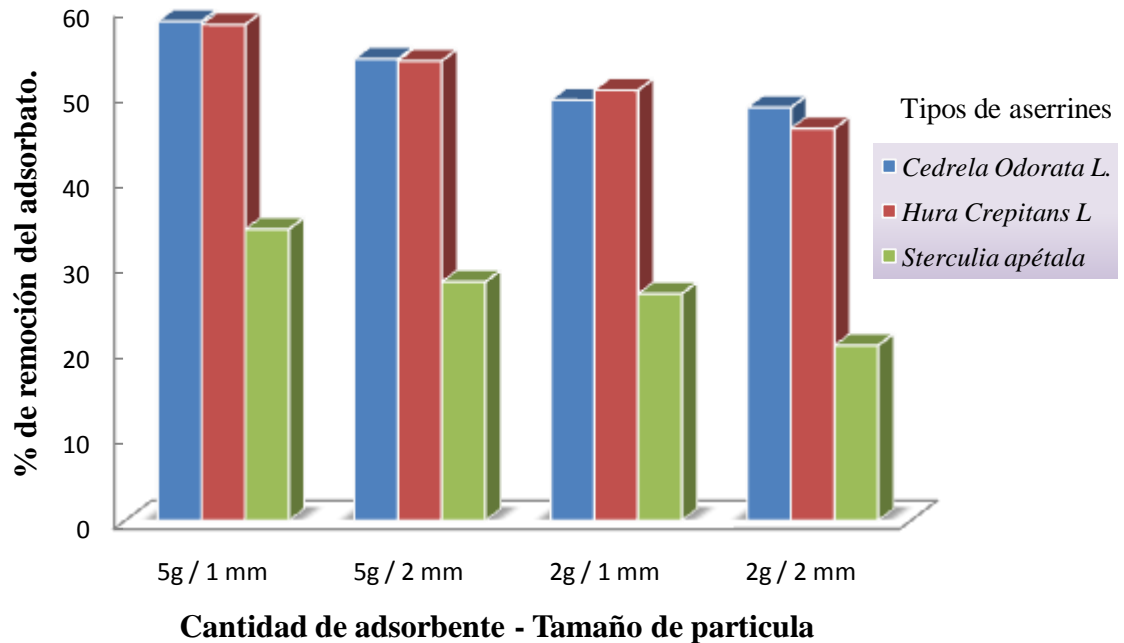
Tabla 7. Resultados del potencial del aserrín para adsorber Diesel.

Muestras		Cantidad de aserrín	Tamaño de partícula	Cantidad retirada de Diesel	Porcentaje de remoción.
N° 1	<i>Cedrela Odorata L.</i>	2g	2 mm	9.46201 mg/L	47,31%
N° 2		5g	2 mm	10.78434 mg/L	53,92%
N° 3		2g	1 mm	9.82846 mg/L	49,14%
N° 4		5g	1 mm	11.69823 mg/L	58,49%
N° 5	<i>Sterculia apétala</i>	5g	2 mm	5.59255 mg/L	27,96%
N° 6		5g	1 mm	6.83070 mg/L	34,15%
N° 7		2g	1 mm	5.31358 mg/L	26,57%
N° 8		2g	2 mm	4.10330 mg/L	20,52%
N° 9	<i>Hura Crepitans L</i>	5g	1 mm	11.62601 mg/L	58,13%
N° 10		2g	2 mm	9.18931 mg/L	45,95%
N° 11		2g	1 mm	10.08712 mg/L	50,44%
N° 12		5g	2 mm	10.77494 mg/L	53,87%

Fuente: Realizada en la presente investigación.

Para realizar un mejor análisis de los resultados, se realizó una gráfica comparativa de la cantidad de adsorbato removido en los tres tipos de aserrín, en cada una de las condiciones establecidas de cantidad de adsorbente y tamaño de partícula (Fig. 16).

Fig 16. Porcentaje de Remoción del adsorbato (Diesel)



Fuente: Realizado en la presente investigación.

De la Figura 16 se aprecia, un comportamiento similar de disminución en el porcentaje de remoción de Diesel, para los tres tipos de aserrín, referente a cantidad y tamaño de partícula, es decir, al comparar dentro de los dos grupo de cantidades de 2 g y 5 g, se determina que a medida que se disminuye la cantidad de aserrín, disminuye la cantidad de remoción, porque cuando se tienen cantidades altas de aserrín, el área de contacto entre éste y el aceite suspendido es más grande, es decir, el aserrín se esparce y ocupa todo el área transversal del recipiente que contiene el aceite.

Por otro lado, se presenta un mayor porcentaje de remoción cuando la partícula es de menor tamaño. Se observó que en el grupo por tamaños de partículas de 2 mm y 1 mm, el tamaño de 1 mm generó un incremento significativo de remoción de aceite puesto que, entre más pequeña sea una partícula, posee un área de contacto más elevado, permitiendo al adsorbato conseguir una maximiza capacidad de adsorción.

Se distingue el aserrín de *Cedrela Odorata L.* como el más ventajoso entre los tres estudiados, seguido por la *Hura Crepitans L* y *Sterculia Apétala*. A pesar de que los tres tipos de aserrín tienen una estructura química parecida, el aserrín de *Cedrela Odorata L.* presentó un comportamiento más hidrófobo debido a una mayor intensidad de adsorbancia en la conocida zona hidrofóbica, que va de 1600 cm^{-1} a 1030 cm^{-1} donde se identifica la presencia de lignina, un compuesto hidrófobo al igual que la celulosa ubicada alrededor del punto 3400 cm^{-1} . En el resto de los puntos, la llamada zona hidrofílica, se muestra una menor intensidad, suponiendo una menor concentración de grupos afines con el aceite, viéndose reflejado en el análisis FTIR. El aserrín de *Hura Crepitans L*, arrojó resultados muy cercanos al de *Cedrela Odorata L.* ya que, los números de sus puntos que representan sus características hidrofobas e hidrofílicas no están muy apartados, o sea, son valores cercanos, pero al comparar las respectivas intensidades en las zonas hidrofílicas e hidrofóbicas muestran diferencias claves para suponer el hecho, de que el aserrín de *Cedrela Odorata L.* fuera el más ventajoso, mientras que en el aserrín de *Sterculia Apétala*, sus puntos tienen una posición un poco más alejada con una intensidad mucho menor que en los otros dos, por lo tanto, obtuvo la menor eficiencia entre los tres tipos de aserrines analizados.

Diversos autores han trabajado con materiales orgánicos, obteniendo resultados similares a los arrojados en la presente investigación, dentro de los artículos revisados, se encontró el estudio realizado al aserrín de *Ceiba Pentandra L.* para adsorber Diesel en Malaysia [53], el cual mostró altas características hidrofóbicas y oleofílicas, que son atribuibles a su superficie cerosa, confirmado por FTIR. Obteniéndose una reducción del 30% de la capacidad de adsorción de aceite.

En la Universidad de Nanyang, Singapur [56], analizaron la separación de agua y aceite, utilizando aserrín de Kapoc (Ceiba), obteniendo una eficiencia de 57% en la separación de estos componentes, para un tamaño de partícula de 1.5 mm, bajo condiciones establecidas de pH y un tiempo de 30 min; reafirmando que la eficiencia del aserrín de madera, en la

remoción de sustancias contaminantes en cuerpos de agua es buena, porque este retira más de la mitad de dichas sustancias.

Un estudio realizado en la Universidad de Curtin, Australia [29], se modificó la superficie de la paja de la cebada, con hidróxido de sodio (NaOH), para remover aceites minerales y emulsiones en cuerpos de agua. Se logró una remoción de 88,1%, para el aceite contenido en la solución, modificando a su vez el pH de la solución. Al modificar la superficie del adsorbente se maximiza su potencial de adsorción, ya que se retiran ciertos grupos funcionales, que tienen afinidad con el agua.

En España, la Universidad de Oviedo, [27], se realizó un lecho filtrante, a base de aserrín de Eucalipto, el cual removió un 99%, de aceite contenido en un efluente emulsionado. Una tasa de flujo intermedia y un espesor del lecho de 26 mm, fueron las condiciones con mejores resultados de operación para este proceso. La finalidad en la creación de un lecho filtrante muestra una aplicación útil y con fundamento ingenieril.

En el ámbito comercial encontramos a ABASCO S.A., compañía española, presenta opciones de adsorbentes comerciales con un buen potencial de adsorción, entre otros:

Rollos Absorbentes: Los rollos absorbentes ABASCO S.A, están hechos de polipropileno; son usados para absorber y encapsular permanentemente todos los líquidos de hidrocarburos, incluido el petróleo, acetona, disolventes y pinturas. Los rollos absorbentes son muy efectivos en áreas, donde pueden ser distribuidos a lo largo de bordos de ríos, en el perímetro de lagunas de petróleo y en talleres de maquinaria para recoger aceite derramado.

Tabla 8. Configuración de los rollos absorbentes

Rollo Absorbente	Espesor (pulg.)	Ancho, (pulg.)	Largo, (pulg.)	Rollos por bolsa	Peso de embarque, libras	Volumen de embarque, pie³
A-150	3/8	38	144	1	38	7
AX-150	1/4	38	144	1	28	4

Fuente: tomada de <http://abasco.com/materialesabsorbentes.html>

Este material puede adsorber hasta veinte veces su peso, mostrando una eficiencia del 95%, pero el costo es elevado, ya que el rollo de 144 in tiene un valor de € 435, aunque es eficiente, es poco rentable.

Barreras Absorbentes: Las barreras absorbentes y los barredores son usualmente desplegados en el agua. Son más efectivos en situaciones de aguas en calma, donde pueden ser desplegados y recuperados con mínima turbulencia.

Tabla 9. Configuración de las barreras absorbentes.

Barrera Absorbente	Diámetro, (pulg.)	Largo, (pies)	Barreras por bolsa	Peso de embarque, libras
A-4-10S	3/8	10	4	30
A-4-10 Double	4 + 4	10	4	42
A-8-10	8	10	4	42

Fuente: tomada de <http://abasco.com/materialesabsorbentes.html>

Estos pueden adsorber hasta veinte veces su peso y presentan una eficiencia de 98% en aguas calmas, con un valor de € 530.

A continuación en la Tabla 10 se muestra un cuadro comparativo de los estudios realizados con esta investigación.

Tabla 10. Resumen de comparación de estudios similares.

Material	% remoción	Referencias	Condiciones
<i>Cedrela Odorata L.</i>	58.49	En este trabajo	agua sintética
<i>Hura Crepitans L</i>	53.13	En este trabajo	agua sintética
<i>Sterculia apétala</i>	34,14	En este trabajo	agua sintética
<i>Ceiba Pentandra L</i>	30	Abdullah M. [53]	Filtro/sistema batch
Aserrín de Kapoc	57	Teik-Thye [56]	Columnas/sistemas continuos. superficie
Paja de Cebada	88.1	Ibrahim S [29]	modificada/emulsión
Aserrín de Eucalipto	99	Cambiella A [27]	Filtro/flujo continuo
Rollos adsorbentes	95	Abasco	Ríos, Lagunas

Barreras adsorbentes	98	Abasco	Agua en calma
-----------------------------	----	--------	---------------

Fuente: realizada en la presente investigación

6.3. POTENCIAL DE ADSORCIÓN DE *CEDRALA ODORATA L.*

Para determinar el potencial de adsorción, se necesita variar las concentraciones de la solución preparada y establecer la capacidad de adsorción; para esto se realizaron pruebas solo con el aserrín de *Cedrela Odorata L.*, a diferentes concentraciones (40, 60 y 80 ppm), escogido porque arrojó mejores resultados en una concentración de 20 ppm entre los tres tipos de aserrines, como se puede observar en los resultados mostrados en la tabla 8, el porcentaje de remoción aumentó de un 58,50% a un 62,17% al duplicar la concentración. Luego, la diferencia entre 60 y 80 ppm fue mínima, manteniéndose alrededor de 65%.

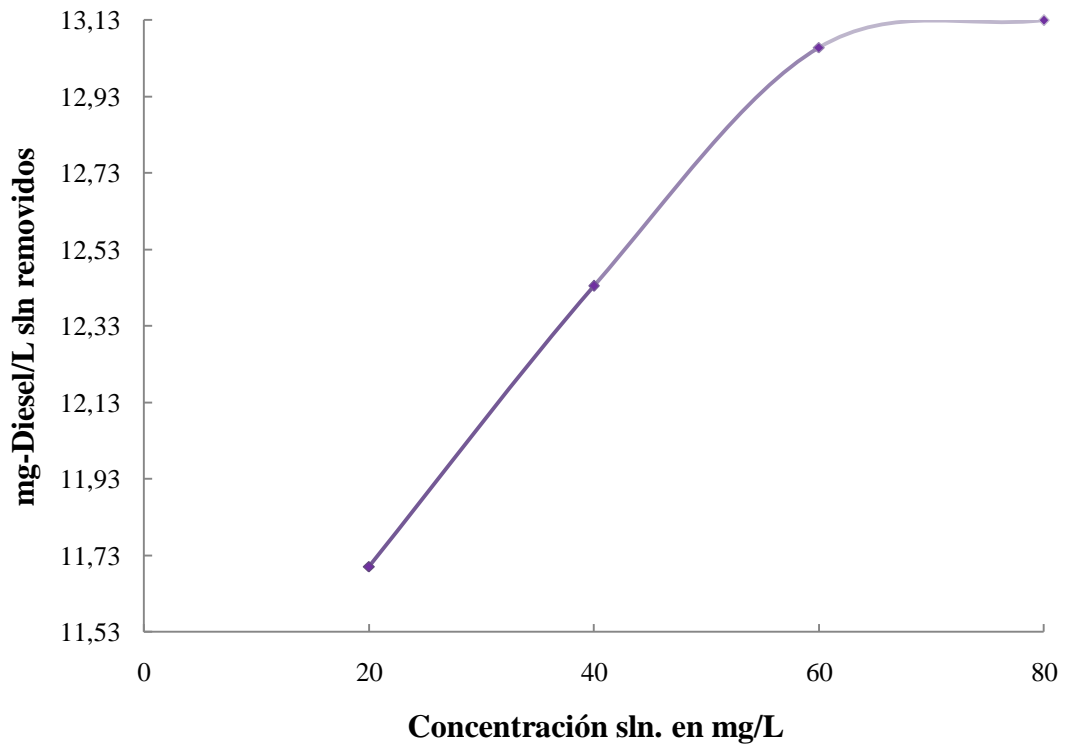
Tabla 11. Potencial de adsorción del *Cedrela Odorata L.*

Concentración de la Solución (mg diesel/L)	mg-diesel/L sln adsorbidos	% de Remoción
20	11,70094	58,5047
40	12,43438	62,1719
60	13,05816	65,2908
80	13,12988	65,6494

Fuente: Realizada en la presente investigación.

A continuación, se grafica (Fig. 17) los mg de diesel adsorbidos vs la concentración de la solución para observar el comportamiento de la saturación del aserrín de *Cedrela Odorata L.*

Fig.17. Potencial de adsorción de *Cedrela Odorata L.* 5g / 1mm



La figura 17 muestra el comportamiento del potencial de adsorción de la *Cedrela Odorata L.* para las condiciones en las que se produjo una mayor remoción de Diesel, siendo una cantidad de 5g y un tamaño de partícula de 1mm, en diferentes concentraciones (20, 40, 60 y 80 ppm) de solución de Diesel en agua de mar. La cantidad de Diesel removido tiende a estabilizarse alrededor de los 13 mg/L, mostrando una saturación del material a estas concentraciones.

7. CONCLUSIONES

De la gran diversidad de especies forestal presente en la costa Caribe, se trabajó con tres tipos de residuos agroindustriales (aserrines).

Al realizar la caracterización física y química de tres tipos de aserrín, mediante FTIR para cada uno, se observó que tienen composiciones químicas similares, pero se diferencian en la concentración de algunos grupos funcionales, reflejado en las intensidades y la cercanía a las bandas que representan a las zonas hidrofóbicas e hidrofílicas.

El análisis de los resultados obtenidos permitió establecer que el aserrín de mayor rendimiento fué de *Cedrela Odorata L* con un 58.49%, seguido por la *Hura Crepitans* con 58,13% y por último *Sterculia Apétala* con 34,14%.

Se determinó que el rendimiento de porcentaje de remoción incrementa a medida que el tamaño de partícula va disminuyendo, de igual manera, sucede lo mismo al incrementar la cantidad dosificada de aserrín.

En este estudio no se analizaron las variables como: pH, tiempos de contactos y rpm. Por no realizar el análisis BET no se pudo determinar cuál de los tres aserrines, tenía mayor área superficial.

Al establecer la capacidad de adsorción del aserrín de *Cedrela Odorata L*, en concentraciones de 40, 60 y 80 ppm, se observó que presentó una buena capacidad de remoción de diesel, y su saturación fué cercana a los 13 mg/L, a medida que se aumentaba la concentración.

Evaluated el rendimiento del aserrín de *Cedrela Odorata L* y, conociendo sus características, se puede realizar estudios económicos, analizando la factibilidad a escala piloto para diseñar equipos como filtros, adaptables a diferentes efluentes industriales contaminados con aceites pesados, para disminuir la contaminación en cuerpos de agua.

8. RECOMENDACIONES

Promover la investigación sobre caracterización química de residuos agroindustriales de otras especies forestales, y comparar las concentraciones de los componentes químicos presentes; como para árboles de la misma especie a partir de regiones distintas, y ver cómo influye en la absorción de aceites, con la finalidad de optimizar tiempo, recursos y rendimiento para futuras investigaciones.

Hacer un nuevo estudio donde se analicen las variables como pH, tiempos de contactos y rpm, para saber que tanto influyen en el proceso de adsorción.

Realizar nuevas investigaciones en sistemas de contacto continuo y con lechos empacados de aserrín

Realizar el análisis BET a los tres aserrines trabajados, para determinar el área superficial de los sólidos adsorbentes.

Realizar estudios económicos sobre las alternativas de uso de la madera, analizando la factibilidad a escala piloto en la biorremediación de aguas contaminadas con aceites pesados, con el fin de reactivar la industria de aserrado.

REFERENCIAS

- [1] Fatima B, Flavio A, Oliveira C, Benedict O, William T. Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. *Brazilian Journal Microbiology*. 2003; Vol 34:65-68.
- [2] Arroyo, M., Quesada, M., Quesada, R.. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. *Geocisa. Div. Protección Ambiental de Suelos*: 2008; Vol15:297-305. Disponible en <http://aguas.igme.es/igme/publica/pdf/lib15/028.pdf>
- [3] Banerjee S.S., Joshi, M.V., Jayaram, R.V. Treatment of oil spill by sorption technique using fatty acid grafted sawdust. *Chemosphere*; 2006; Vol 64: 1026–1031.
- [4] Zhao Xue-Tao, Zeng T., Jun Hua Z., Gao Hong-Wen, Yang Zou C. Modeling and mechanism of the adsorption of proton onto natural bamboo sawdust, *Carbohydrate Polymers*, 2012, Vol 87: 1199–1205.
- [5] Krishnie M, Ruella S, Evans T M, Maurice S, Aoyi O. Removal of nickel from wastewater using an agricultural adsorbent. *Agriculture cleaning; Water SA*; 2011; Vol 37: 87-90.
- [6] Prado A, Moura E, Andrade R, Pescara I, Ferreira V, Faria E, De Oliveira A, Okino E, Zara L. Application of Brazilian sawdust samples for chromium removal from tannery wastewater. *J Therm Anal Calorim*; 2010; Vol 99: 681–687
- [7] Mehrdad A., Rolf G, Scherzer T., Wolfgang K., Torbjo L. Laboratory-scale production of biofuel pellets from electron beam treated Scots pine (*Pinus silvestris* L.) sawdust. powder technology; *Radiation Physics and Chemistry*, 2010; Vol 78: 281–287.

- [8] Gopalakrishnan K., Manivannan V. and Jeyadoss T. Comparative Study on Biosorption of Zn(II), Cu(II) and Cr(VI) from Textile Dye Effluent Using Sawdust and Neem Leaves Powder. *E-Journal of Chemistry*; 2010; Vol 7: S504-S510
- [9] Olugbenga B, Oladipo A, Misbaudeen H., Olalekan Abdul M. P. Kinetic and Equilibrium Studies of Methylene Blue Removal From Aqueous Solution by Adsorption On Treated Sawdust. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*; 2010; Vol. 29: 77–85.
- [10] Sanchez N, Vazquez M, Torresi R. Degradation and adsorption of AZO RR239 dye in aqueous solution by nanoscale zerovalent iron particles immobilized on sawdust. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*; 2010; Vol 55: 18-25.
- [11] Chouchene A., Jeguirim M, Trouvé G., Favre-Reguillon A., Le Buzit G. Combined process for the treatment of olive oil mill wastewater: Absorption on sawdust and combustion of the impregnated sawdust, *Bioresource Technology*, 2010, Vol 101: 962–6971
- [12] Jeguirima M., Chouchènea A., Réguillonb A., Trouvéa G., LeBuzitb G. A new valorisation strategy of olive mil wastewater: Impregnation on sawdust and combustion., *Laboratoire Gestion des Risques, Environnement 25; Resources, Conservation and Recycling*; 2011; Vol 38: 58-74.
- [13] Chouchene A. Jeguirim M., Favre-Reguillon A., Trouvé G., Le Buzit G. Khiari B, Zagrouba F. Energetic valorisation of olive mill wastewater impregnated on low cost absorbent. Sawdust versus olive solid waste. *Energy*; 2011; Vol 39: 74-81.
- [14] Fu Y, Chung D.D.L.; Coagulation of oil in water using sawdust, bentonite and calcium hydroxide to form floating sheets, *Applied Clay Science*, 2011, Vol 53:634-641.

- [15] Ali, M. Eliyas, H. Al-Sarawi, S.S. Radwan. Hydrocarbon-utilizing microorganisms naturally associated with sawdust. *Chemosphere*; 2011; Vol 83: 1268–1272.
- [16] Xiaoyan C., Guipeng Y., Shuwei W., Hui H. Sorption of heavy oil onto Jiaozhou Bay sediment, Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology. *Marine Pollution Bulletin*; 2011; Vol 62: 741–746.
- [17] Mohamed A, Salah J, Naceur J. Ammonium biosorption onto sawdust: FTIR analysis, kinetics and adsorption isotherms modeling, Wastewater Treatment and Recycling Laboratory. *Bioresource Technology*; 2010; Vol 101: 5070–5075.
- [18] Charles P., Nanseu-N., Gustave K., Emmanuel N. Study of the removal of paraquat from aqueous solution by biosorption onto Ayous (*Triplochiton schleroxyylon*) sawdust. *Journal of Hazardous Materials*; 2010; Vol 179: 63–71.
- [19] Shukla A., Zhang Yu-H, Dubey P., Margrave J.L., Shukla S.S. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water. *Journal of Hazardous Materials*; 2002; vol 95: 137–152
- [20] Ajmal M., Khan A., Ahmad S., Ahmad A. Role of sawdust in the removal of Cu (II) from industrial waste, *Water Research*; 1998; Vol 32: 3085–3091.
- [21] Aniorudhan T S, & Sreedhar M K. Adsorption thermodynamics of Co(II) on polysulphide treated sawdust; *Indian journal of chemical technology*; 1998, Vol 5 : 41-47.
- [22] Schipper L., Vojvodic-Vukovic M., Nitrate removal from groundwater using a denitrification wall amended with sawdust: field trial, *J. Environ.* 1998; Vol 27 : 664–668.

- [23] Marina S., Bogdanka R., Z' arko K., Mile K., Adsorption of heavy metals from electroplating wastewater by wood sawdust. *Bioresource Technology* 2007, Vol 98: 402–409.
- [24] Jong-Sik L., Jin-Ho, K., Sun-Gang, Y., Won-II, K. Effect of was Dust Treatment at Diesel Oil Contaminated soil. *WCSS, Thailand; 2002; Vol 17 : 14–21.*
- [25] Yu B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S.S., Dorris, K.L. The removal of lead from aqueous solutions by sawdust adsorption, *J. Haz. Mat.* 2001, Vol 84: 83-94.
- [26] Batzias F., Sidiras D., Dye adsorption by prehydrolysed beech sawdust in batch and fixed-bed systems. *Bioresource Technology* 2007, Vol 98: 1208–1217.
- [27] Cambiella A´. Ortega E, Ríos G, Benito J. M., Pazos C., Coca J. Treatment of oil-in-water emulsions: Performance of a sawdust bed filter., *Journal of Hazardous Materials* 2006; Vol 86 : 195–199.
- [28] Hashem a, elhmmali m. m., hussein a. hussein, and m. a. senousi. utilization of sawdust-based materials as adsorbent for wastewater treatment.; *polymer-plastics technology and engineering; 2006; vol 45 : 1-8.*
- [29] Iibrahim S, Ang Ha-M, Wang S. Removal of emulsified food and mineral oils from wastewater using surfactant modified barley straw; *Bioresource Technology; 2009; Vol 100: 5744–5749.*
- [30] Hussein M., Amer, A.A., El-Maghraby, A., Taha, N.A. Availability of barley straw application on oil spill clean-up. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2009; Vol. 6: 123–130.
- [31] Bera D., Lahiri D., Nag A., Kinetic studies on bleaching of edible oil using charred sawdust as a new adsorbent. *Journal of Food Engineering* 2004; vol 65: 33–36

- [32] Ajijolsiys L.O., Hill, P.S., Islam, M.R. Qualitative understanding of the mechanism of oil mineral interaction as potential oil spill countermeasure - a review. *Energy Sources* 2007, Vol 29: 499–509
- [33] Podorozhko E.A., Lozinsky, V.I., Ivshina, I.B., Kuyukina, M.S., Krivorutchko, A.B., Philip, J.C., Cunningham, C.J. Hydrophobised sawdust as a carrier for immobilisation of the hydrocarbon-oxidizing bacterium *Rhodococcus ruber*. *Bioresour. Technol*; 2008; Vol 99: 2001–2008.
- [34]. Tiwari S., Gupta, V.K., Pandey, P.C., Singh, H., Mishra, P.K. Adsorption chemistry of oil-in-water emulsion from spent oil based cutting fluids using sawdust of *Mangifera indica*. *J. Int. Environ.* 2009. Vol 4: 99–107.
- [35] Raymond Tan. Poster: Cleaning up open water petroleum spill with magnetic sawdust. *The Ohio Journal of Science*; 2005; Vol 108: 2-6.
- [36] Veil J.A, Quinn J.J. Water Issues Associated with Heavy Oil Production. Argonne National Laboratory. Noviembre 2008. Vol 4: 1-64
- [37] Sun Run-Cang. Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels. 2010. 1a Ed. 35-52 p.
- [38] Moodley K, Singh R, T Musapatika, Onyango M and Ochieng A. Removal of nickel from wastewater using an agricultural adsorbent. *Water SA*; 2011; Vol. 37: 5-17.
- [39] Taty-Costodes, V. C., Fauduet, H., Porte, C. and Delacroix, A. Removal of Cd(II) and Pb(II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of *Pinus sylvestris*. *Journal of Hazardous Materials*; 2003; Vol 105; 121-142.

[40] RAI P, Banerjee S, Jayaram R. Removal of Disperse Dyes from Aqueous Solution Using Sawdust and BDTDA-Sawdust; Journal of Dispersion Science and Technology;2007; Vol 28 : 1066–1071.

[41] Browning, B. L. “Methods of Wood Chemistry”. 2a. Edición. Londres, 1967

[42] Fengel, D. Wegener, G. “Wood Chemistry, Ultrastructure Reaction”. Berlín, 1984.

[43] Tsoumis, George. Science and Technology of Wood. Editorial Van Nostrand Reinhold. New York, 1991. 494 p.

[44] Tanner, W. Y Loewus, F. A. “Extracelular Carbohydrates, Enciclopedia of Plant Physiology”. New York, 1991. 769 p

[45] Kirk, R. Enciclopedia de Tecnología Química”. Edición en Español. Editorial Hispano Americana. México, 1961.

[46] Universidad Nacional sede Medellín. Facultad de ciencias agropecuarias. Departamento de ciencias forestales. **Disponible en:**
<http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/PDF/Camaj%F3n.pdf> consultado marzo 11-2012.

[47] Espinal Corrales, Natalia Cristina. **Extracción y caracterización fisicoquímica del contenido tánico en la corteza de cinco especies forestales procedentes del departamento de petén, aprovechando el subproducto de la industria de aserradero.** Guatemala, 2009. 303 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Química.

[48] Universidad Nacional sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de ciencias forestales. **Disponible en:**

<http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/PDF/Ceiba%20amarilla.pdf> consultado marzo 11-2012.

[49] Elliott H. A; Huang, C. P. Adsorption characteristics of some Cu (II) complexes on alumino silicates; *Water Research*; 1981; Vol 15: 849-855

[50] Unesco; Guide to operational procedures for the IGOSS Pilot Project on Marine Pollution (Petroleum) Monitoring. IOC/WMO Manual and guides; 1976 Vol 7.

[51] Arami-Niya A., Wan Mohd A., Farouq S., Abnisa F., Saleh Shafeeyan M. Production of microporous palm shell based activated carbon for methane adsorption: Modeling and optimization using response surface methodology. *Chemical engineering research and design*; 2011; Vol 98: 889-898.

[52] Kong L., Tian S., Chun He, Changming D, YuTing T., Xiong Y. Effect of waste wrapping paper fiber as a “solid bridge” on physical characteristics of biomass pellets made from wood sawdust. *Applied Energy*; 2012; Vol 98 33–39.

[53] Abdullah M., Rahmah A., Man Z. Physicochemical and sorption characteristics of Malaysian *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. as a natural oil sorbent, *Journal of Hazardous Materials*; 2010; Vol. 177: 683–691

[54] Bulut Y., Tez z. Removal of Cd (II) ion from waste water by adsorption onto polyaniline coated on sawdust. *Journal of Environmental Sciences*; 2007; Vol. 19: 160-166

[55] Majeau J., K. Brar S., Dayal Tyagi R., The absorption of polyphenols from olive oil mill wastewaters by sawdust and biodegradation by the fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource Technology*; 2010; Vol 101: 2331-2350

[56] Teik-Thye L., Huang X. In situ oil/water separation using hydrophobic–oleophilic fibrous wall: A lab-scale feasibility study for groundwater cleanup. *Journal of Hazardous Materials*; Vol. 137: 820-826.

[57] Karagöz S., Bhaskar T., Muto A., Sakata Y. Comparative studies of oil compositions produced from sawdust, rice husk, lignin and cellulose by hydrothermal treatment. *Fuel*; 2005; Vol. 84: 875–884

[58] Luciati D., Duta A. Comparative Adsorption Of Copper On Oak, Poplar And Willow Sawdust; University of Brasov. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 2 (51):143-152

ANEXOS A

ANEXOS A

pág.

Anexo A.1: muestra <i>Cedrela Odorata L.</i> 2mm y 2 g.	93
Anexo A.2: muestra <i>Cedrela Odorata L.</i> 2mm y 5 g.	94
Anexo A.3: muestra <i>Cedrela Odorata L.</i> 1 mm y 2 g.	95
Anexo A.4: muestra <i>Cedrela Odorata L.</i> 1 mm y 1 g.	96
Anexo A.5: muestra <i>Sterculia Apétala.</i> 2 mm y 5 g.	97
Anexo A.6: muestra <i>Sterculia Apétala.</i> 1 mm y 5 g.	98
Anexo A.7: muestra <i>Sterculia Apétala.</i> 1 mm y 2 g.	99
Anexo A.8: muestra <i>Sterculia Apétala.</i> 2 mm y 2 g.	100
Anexo A.9: muestra <i>Hura Crepitans L.</i> 1 mm y 5 g.	101
Anexo A.10: muestra <i>Hura Crepitans L.</i> 2 mm y 2 g.	102
Anexo A.11: muestra <i>Hura Crepitans L.</i> 1 mm y 2 g.	103
Anexo A.12 muestra <i>Hura Crepitans L.</i> 2 mm y 5 g.	104

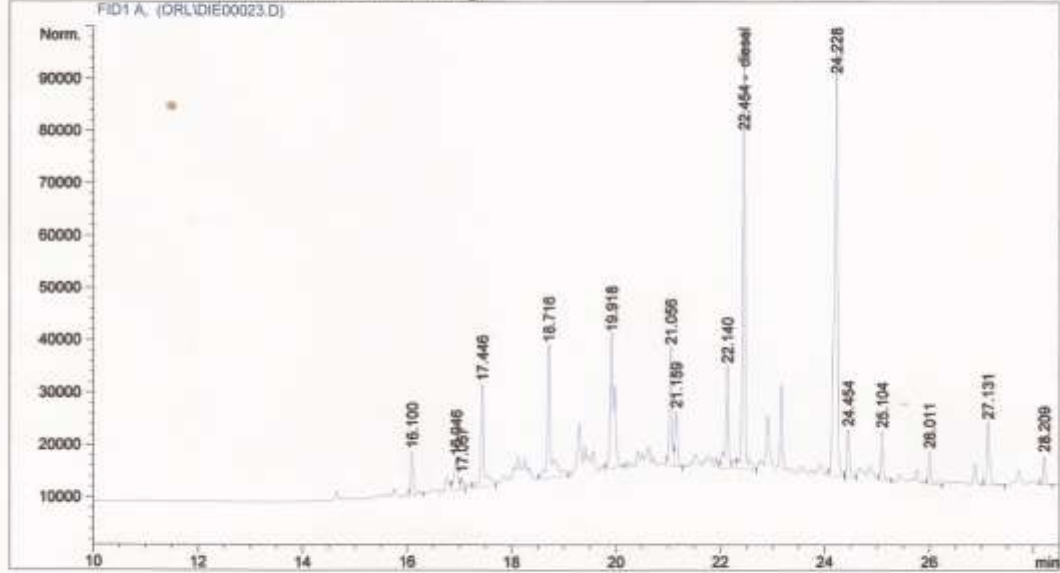
Anexo A.1: muestra *Cedrela Odorata L.* 2mm y 2 g.

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\ORL\DIE00023.D Sample Name: diesel

muestra 1

```

Injection Date : 29/05/2012 23:09:30
Sample Name    : diesel                      Location : Vial 1
Acq. Operator  : orlando de la rosa         Inj Volume : Manually
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 29/05/2012 14:07:44 by orlando de la rosa
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 01/06/2012 21:30:50 by orlando de la rosa
                (modified after loading)
    
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 07/07/2012 12:00:18
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
    
```

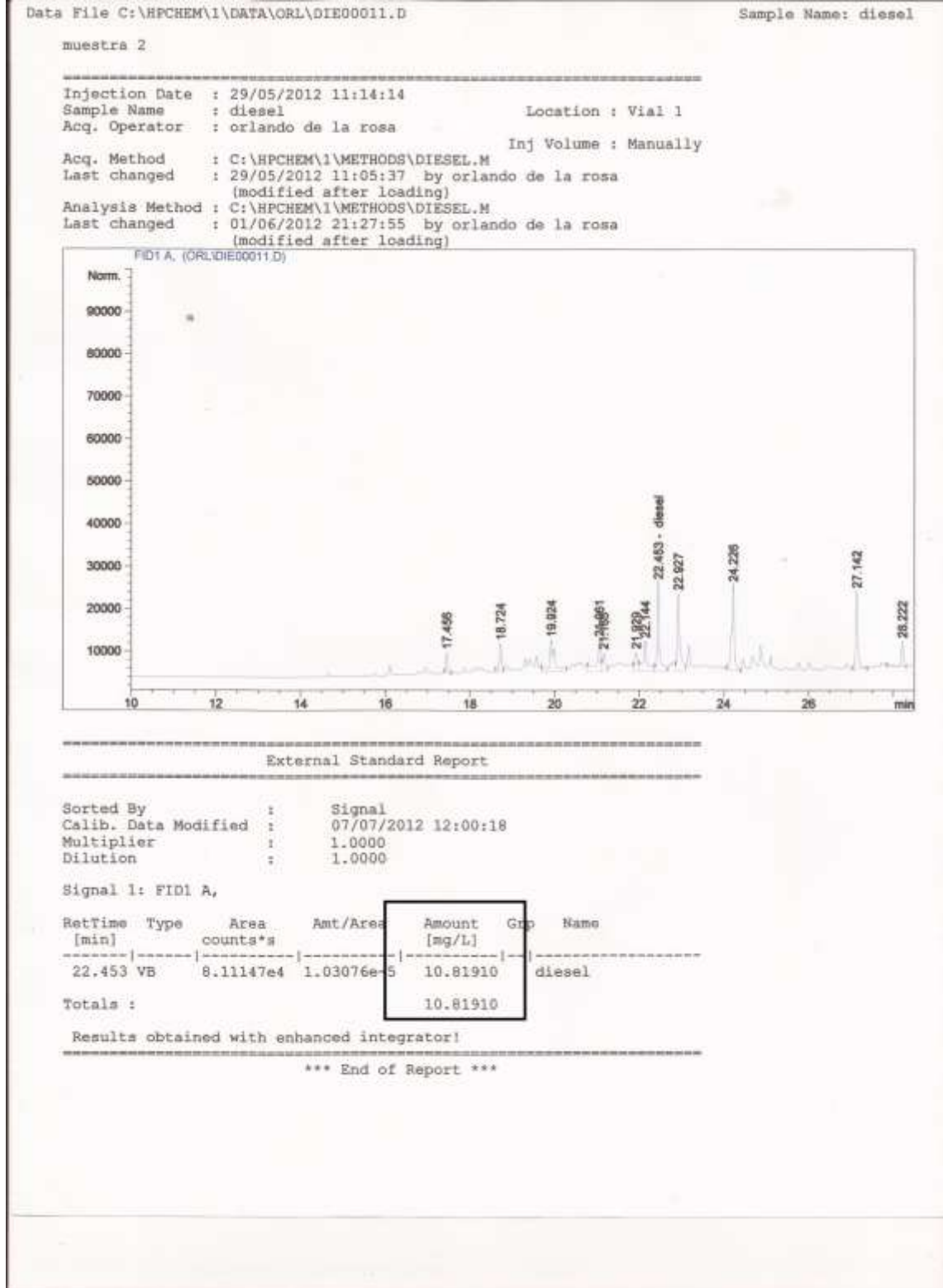
Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area counts*s	Amt/Area	Amount [mg/L]	Grp	Name
22.454	VV	2.66065e5	9.99518e-4	9.68010		diesel
Totals :				9.68010		

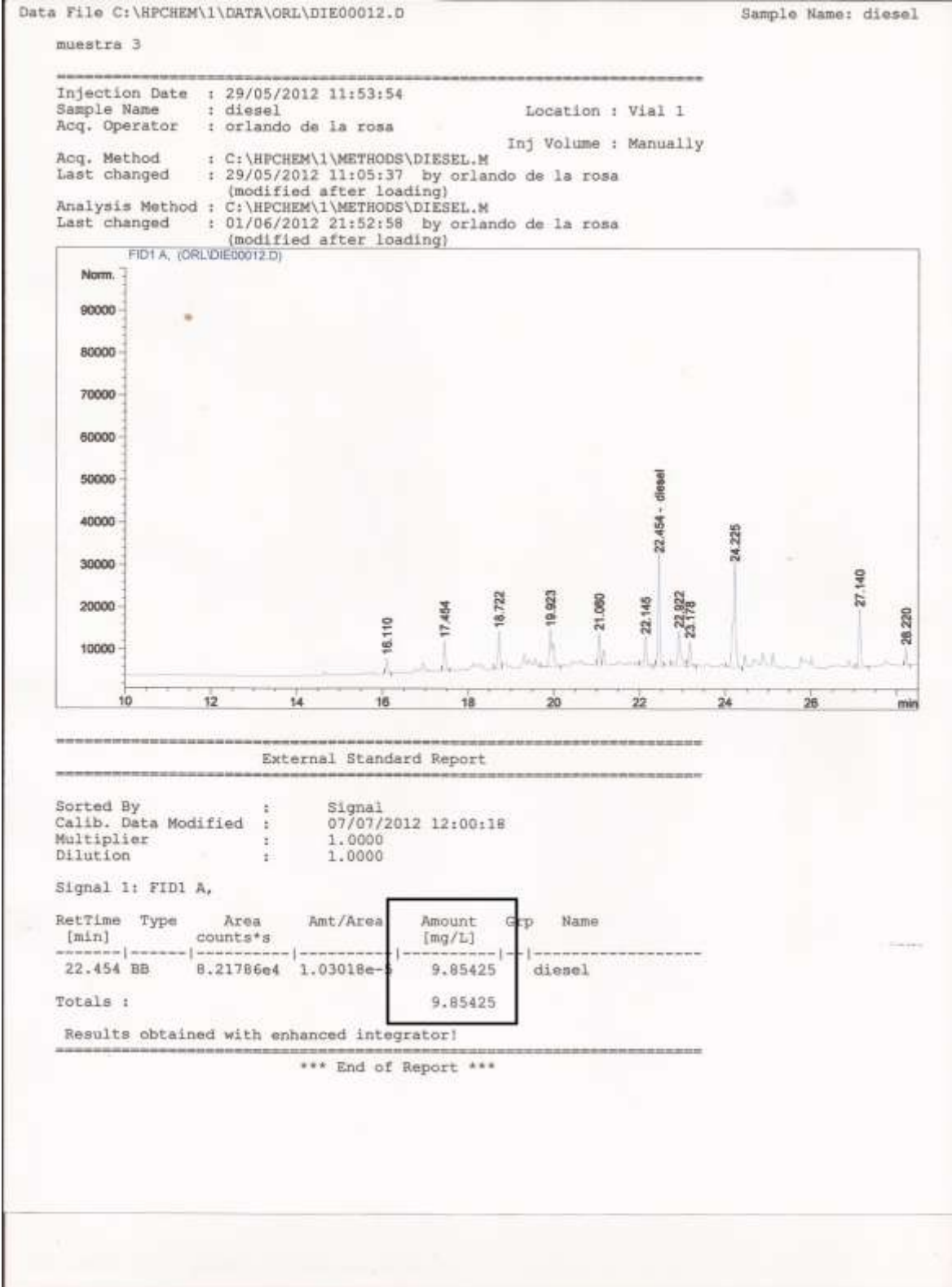
Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

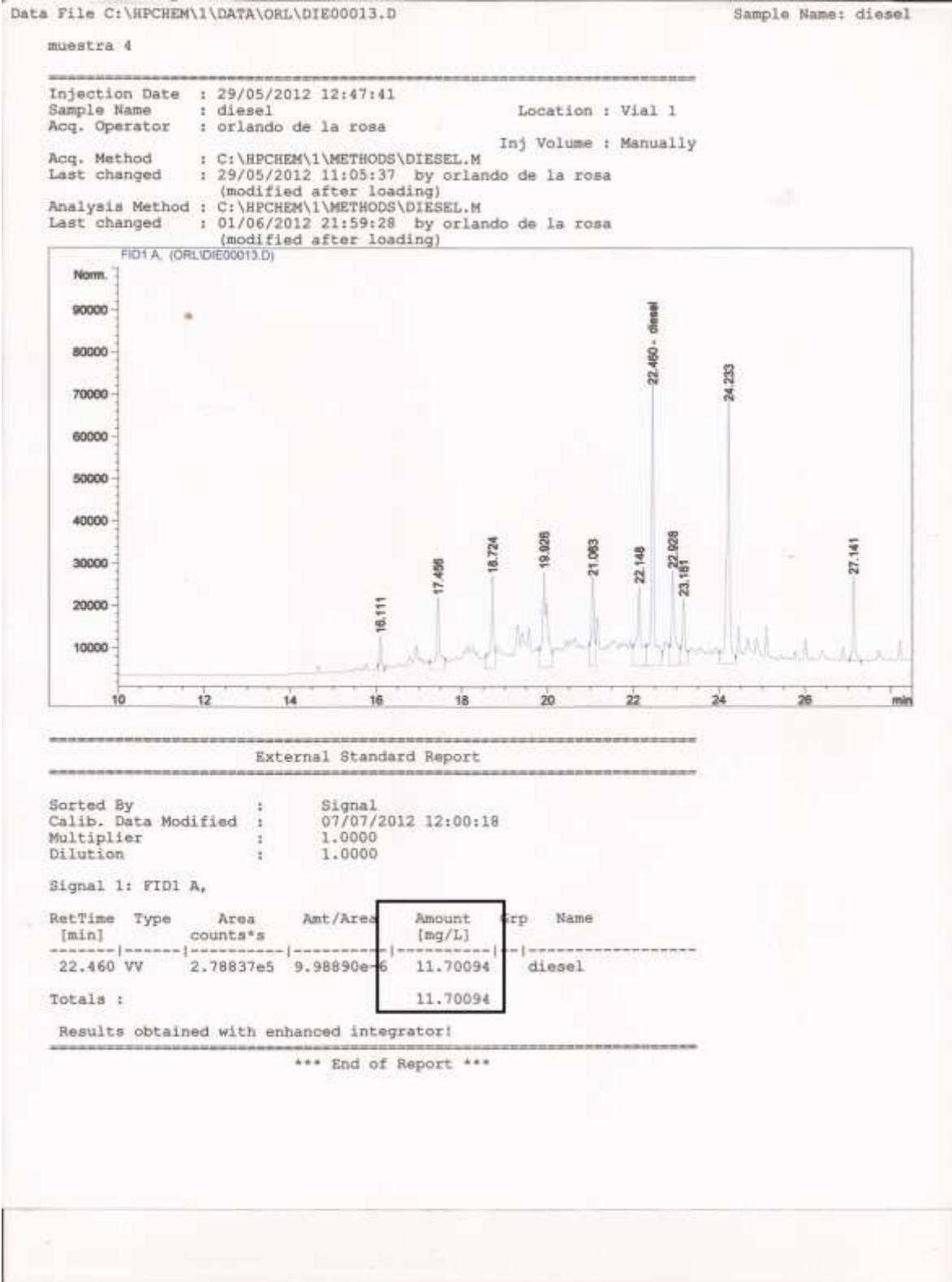
Anexo A.2: muestra *Cedrela Odorata L.* 2mm y 5 g.



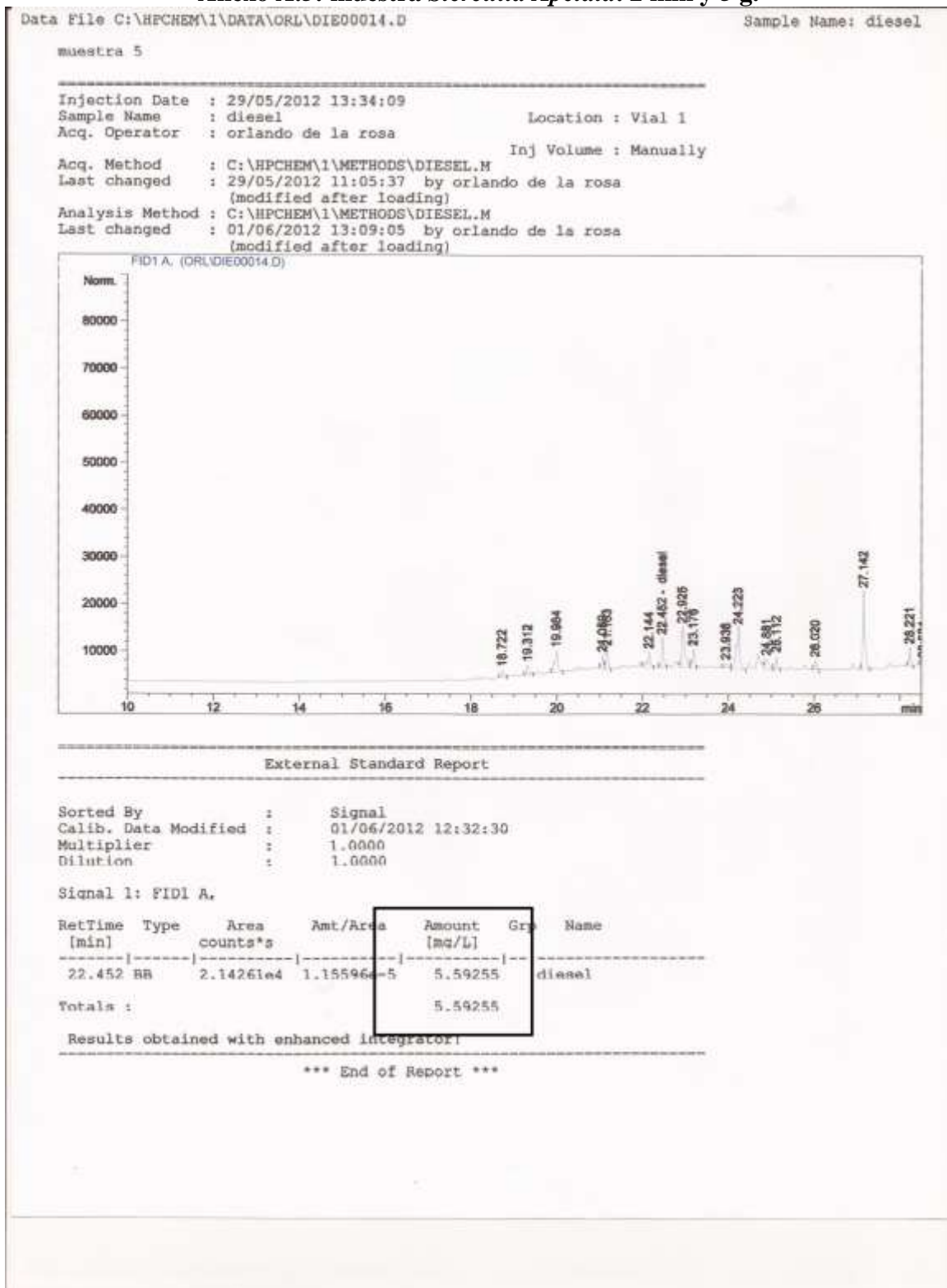
Anexo A.3: muestra *Cedrela Odorata L.* 1mm y 2 g.



Anexo A.4: muestra *Cedrela Odorata L.* 1mm y 1 g.



Anexo A.5: muestra *Sterculia Apétala*. 2 mm y 5 g.



Anexo A.6: muestra *Sterculia Apétala*. 1 mm y 5 g.

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\ORL\DIE00015.D Sample Name: diesel

muestra 6

```

Injection Date : 29/05/2012 16:05:52
Sample Name    : diesel                Location : Vial 1
Acq. Operator  : orlando de la rosa    Inj Volume : Manually
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 29/05/2012 14:07:44 by orlando de la rosa
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 01/06/2012 13:13:01 by orlando de la rosa
                (modified after loading)
    
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 01/06/2012 12:32:30
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area counts*s	Amt/Area	Amount [mq/L]	Grp	Name
22.428	PR	3338.11694	2.07790e-5	6.83070		diesel
Totals :				6.83070		

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

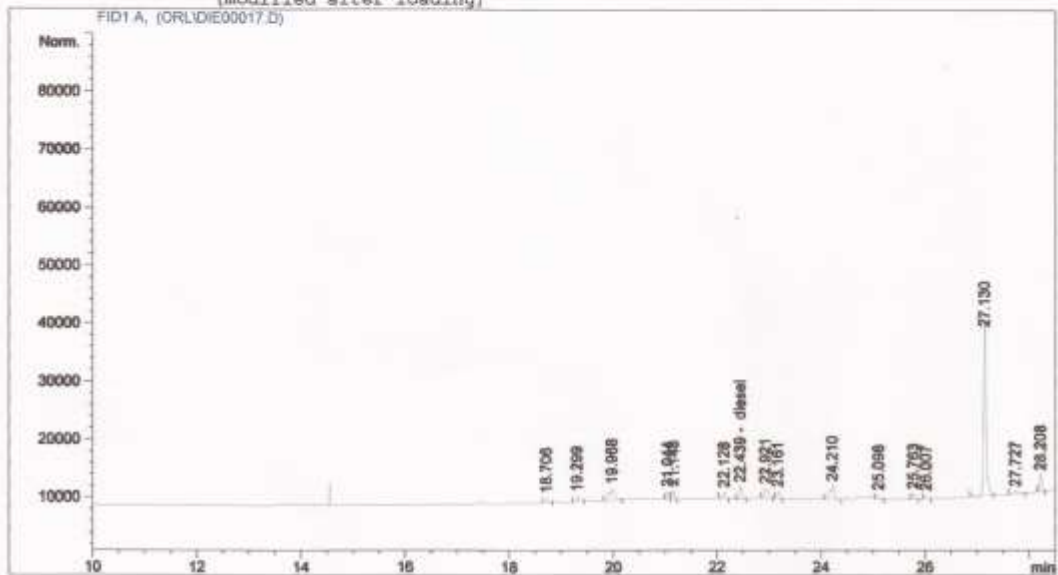
Anexo A.7: muestra *Sterculia Apétala*. 1mm y 2 g.

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\ORL\DIE00017.D Sample Name: diesel

muestra 7

```

Injection Date : 29/05/2012 18:16:18
Sample Name    : diesel                      Location : Vial 1
Acq. Operator  : orlando de la rosa         Inj Volume : Manually
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 29/05/2012 14:07:44 by orlando de la rosa
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 01/06/2012 13:17:25 by orlando de la rosa
                (modified after loading)
    
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 01/06/2012 12:32:30
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area counts*s	Amt/Area	Amount [mg/L]	Grp	Name
22.439	EB	7759.97314	1.45560e-5	5.31358		diesel

Totals : 5.31358

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Anexo A.8: muestra *Sterculia Apétala*. 2mm y 2 g.

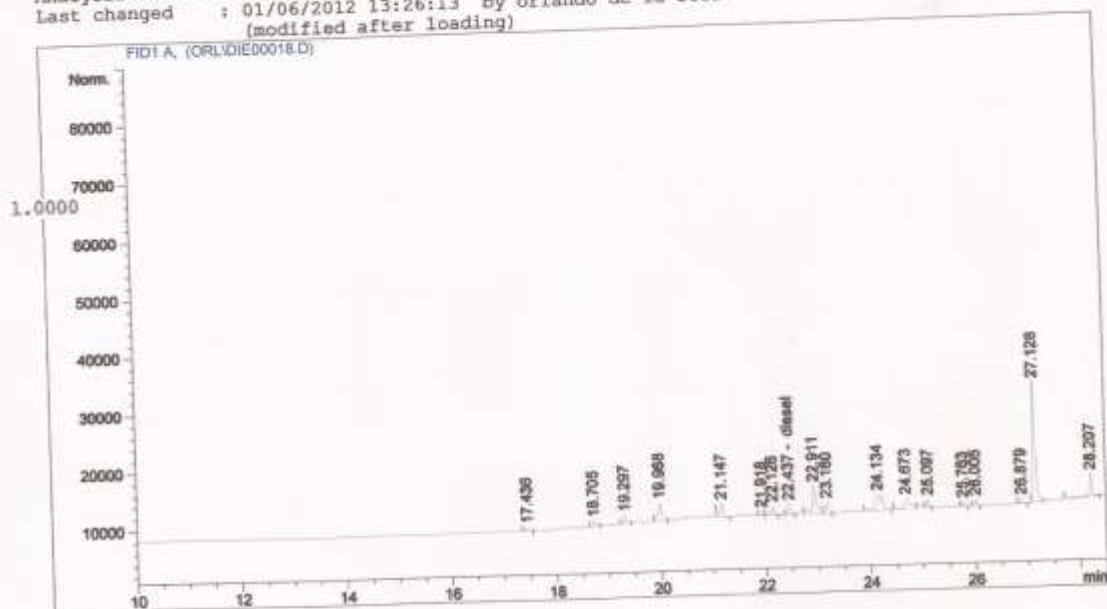
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\ORL\DI00018.D

muestra 8

```

Injection Date : 29/05/2012 19:22:56      Location : Vial 1
Sample Name    : diesel
Acq. Operator  : orlando de la rosa      Inj Volume : Manually

Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 29/05/2012 14:07:44 by orlando de la rosa
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 01/06/2012 13:26:13 by orlando de la rosa
                (modified after loading)
    
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 01/06/2012 12:32:30
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 1.0000
    
```

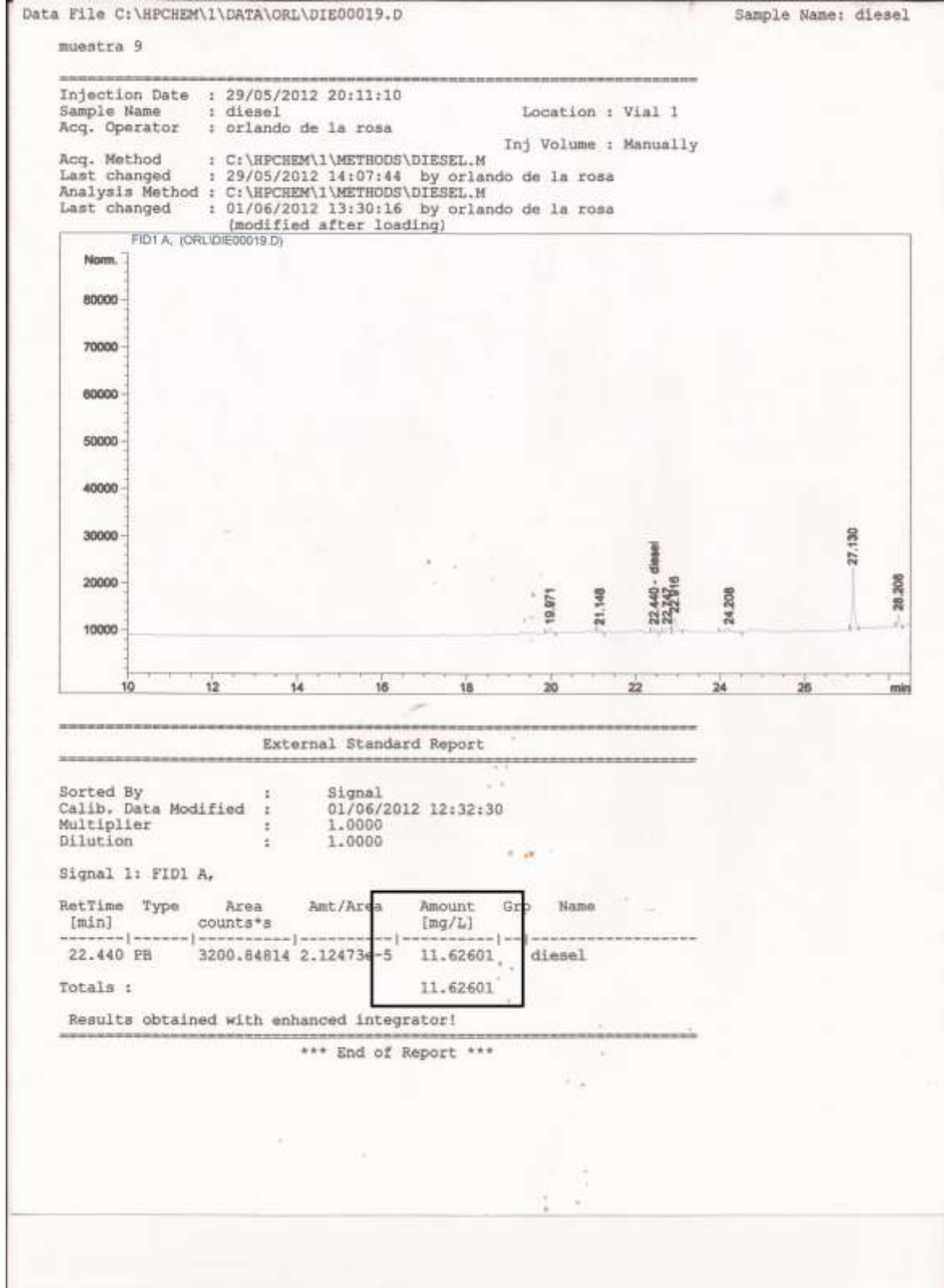
Signal 1: FID1 A.

RetTime [min]	Type	Area counts*s	Amt/Area	Amount [mg/L]	Grp	Name
22.437	PB	6467.24219	1.54950e-5	4.10330		diesel
Totals :				4.10330		

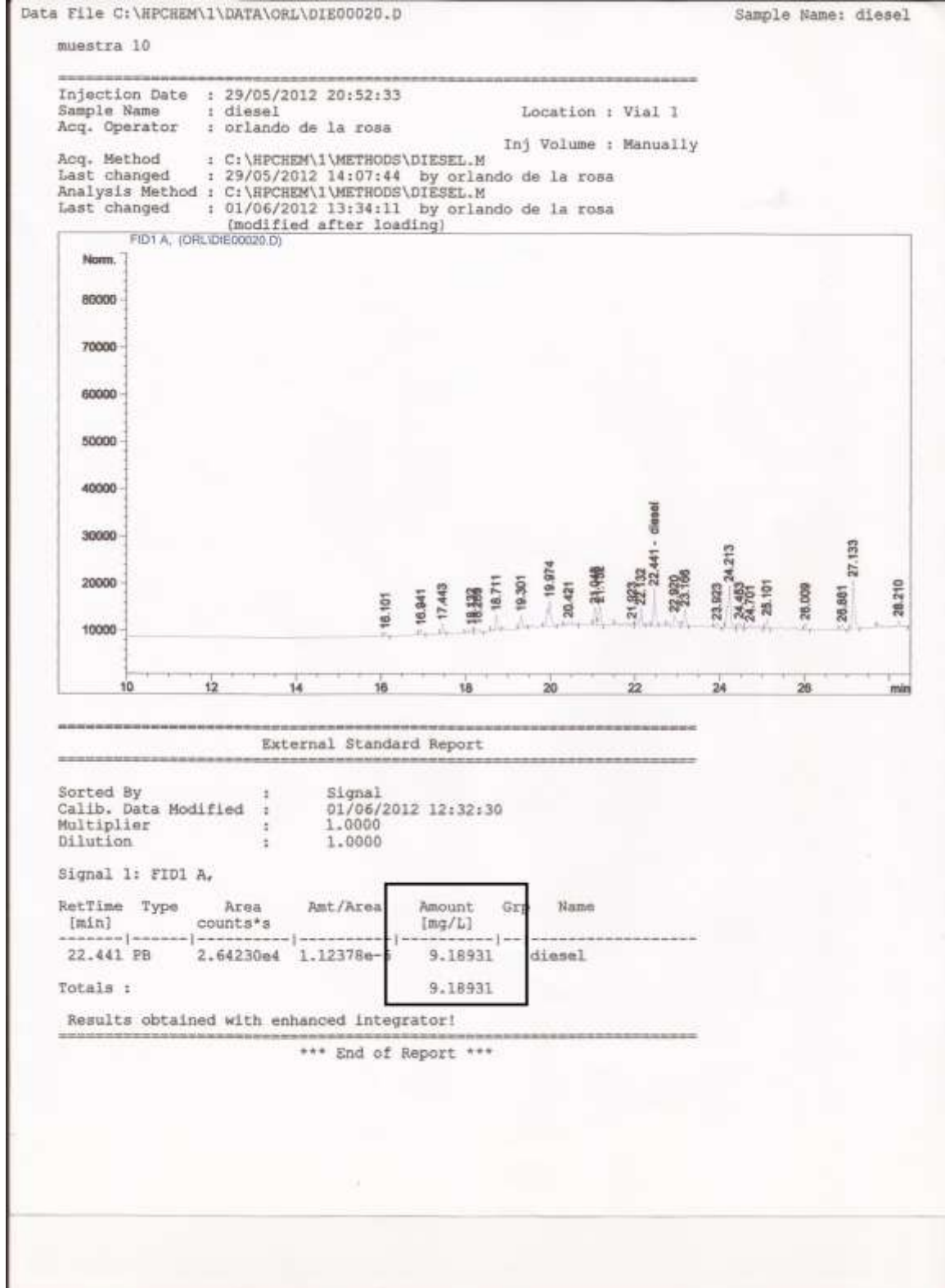
Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Anexo A.9: muestra *Hura Crepitans L.* 1 mm y 5 g.



Anexo A.10: muestra *Hura Crepitans* L.2 mm y 2 g.



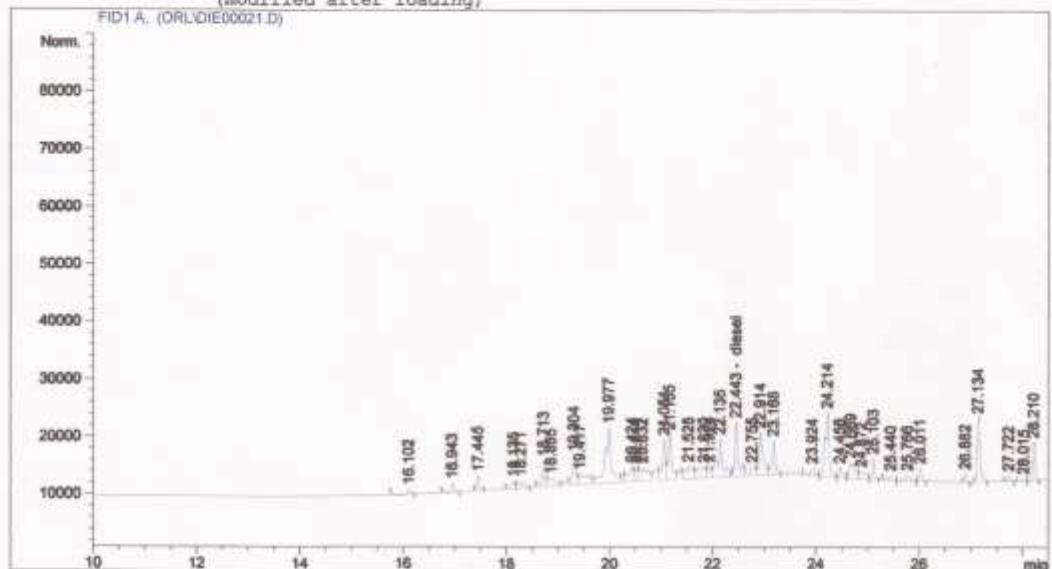
Anexo A.11: muestra *Hura Crepitans L.* 1mm y 2 g.

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\ORL\DIE00021.D Sample Name: diesel

muestra 11

```

Injection Date : 29/05/2012 21:39:02
Sample Name    : diesel                      Location : Vial 1
Acq. Operator  : orlando de la rosa         Inj Volume : Manually
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 29/05/2012 14:07:44 by orlando de la rosa
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 01/06/2012 13:40:26 by orlando de la rosa
                (modified after loading)
    
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 01/06/2012 12:32:30
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 1.0000
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area counts*s	Amt/Area	Amount [mg/L]	Grp	Name
22.443	BB	3.91596e4	1.07891e-5	10.08712		diesel

Totals : 10.08712

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Anexo A.12 muestra *Hura Crepitans* L. 2mm y 5 g.

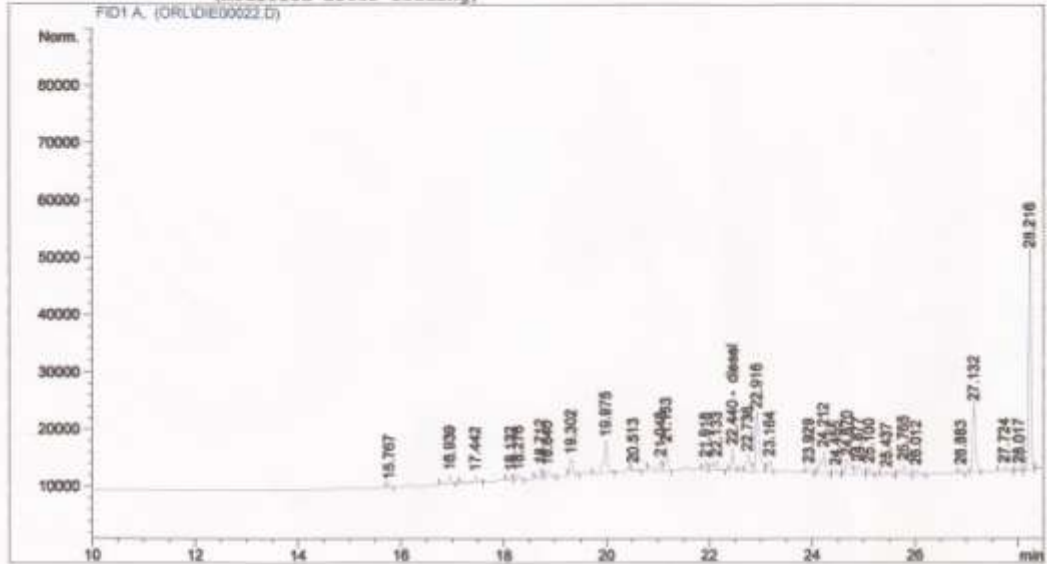
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\ORL\DIE00022.D Sample Name: diesel

muestra 12

```

Injection Date : 29/05/2012 22:25:51
Sample Name    : diesel                      Location : Vial 1
Acq. Operator  : orlando de la rosa          Inj Volume : Manually

Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 29/05/2012 14:07:44 by orlando de la rosa
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIESEL.M
Last changed   : 01/06/2012 13:44:43 by orlando de la rosa
                (modified after loading)
    
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 01/06/2012 12:32:30
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area counts*s	Amt/Area	Amount [mg/L]	Grp	Name
22.440	BB	1.42200e4	1.24218e-5	10.77494		diesel

Totals : 10.77494

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

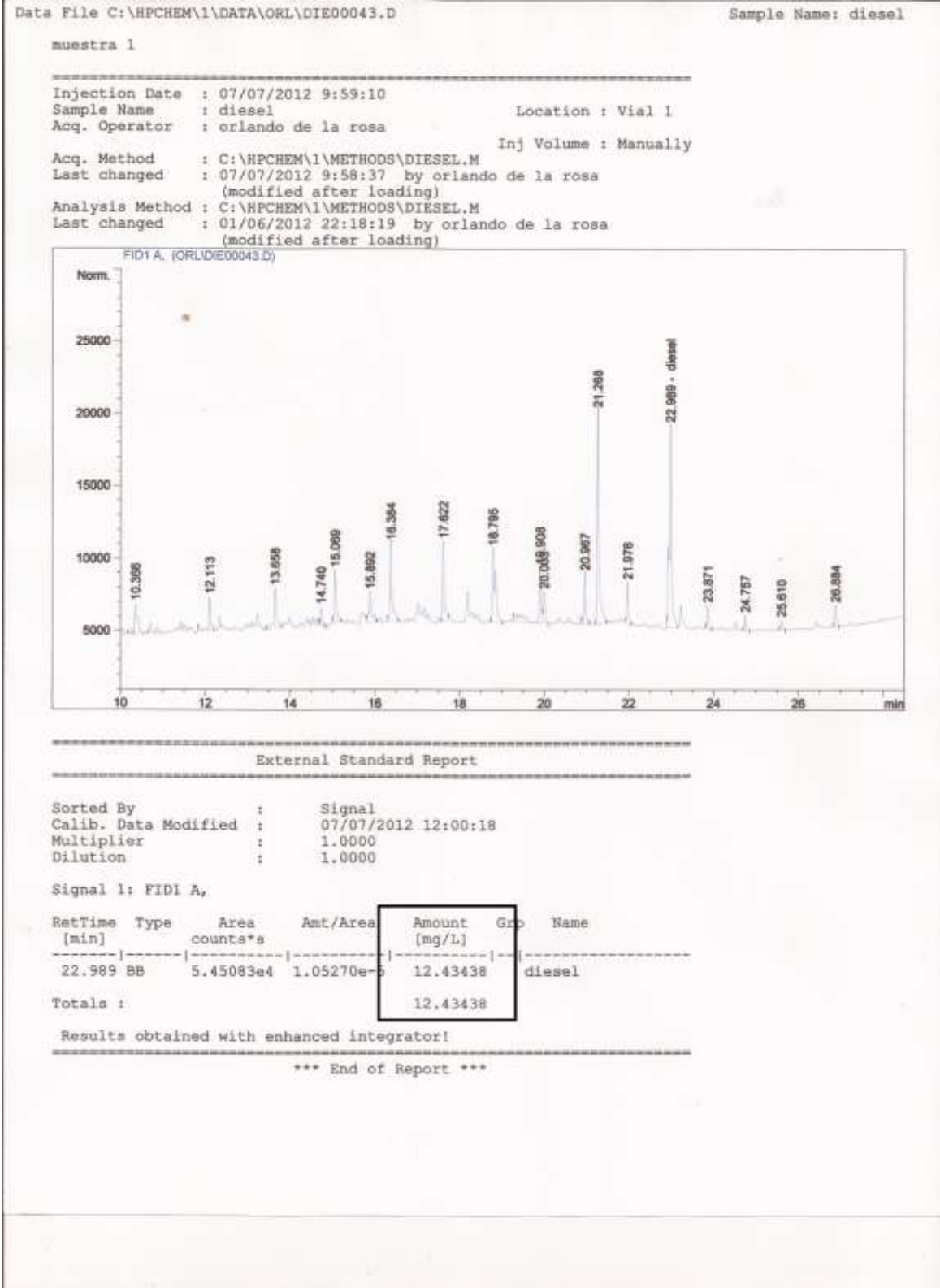
ANEXOS B

ANEXOS B

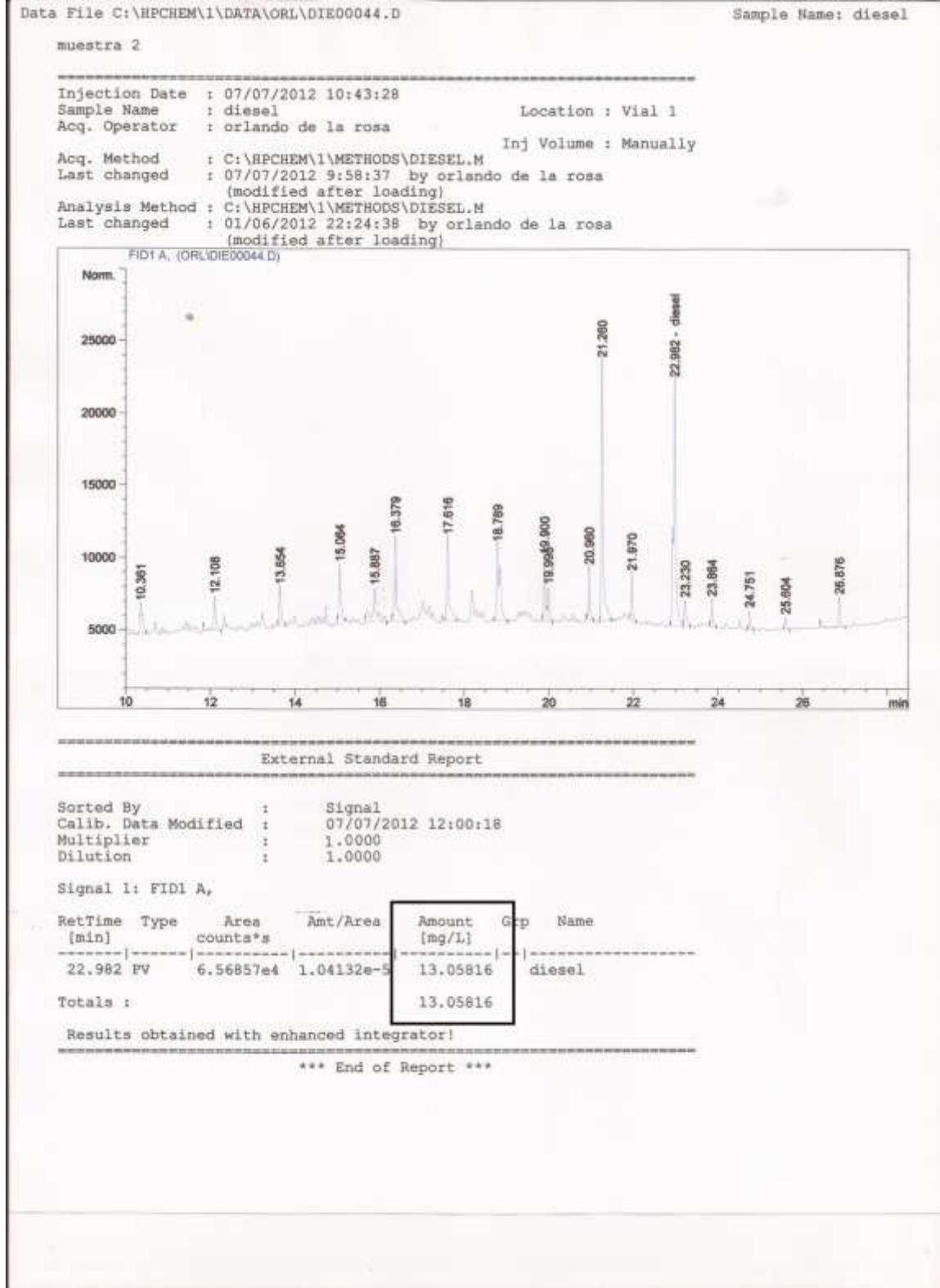
pág.

Anexo B.1: muestra <i>Cedrela Odorata L.</i> 1 mm y 5 g. 40 ppm.....	107
Anexo B.2: muestra <i>Cedrela Odorata L.</i> 1 mm y 5 g. 60 ppm.....	108
Anexo B.3: muestra <i>Cedrela Odorata L.</i> 1 mm y 5 g. 80 ppm.....	109

Anexo B.1: muestra *Cedrela Odorata L.* 1 mm y 5 g. 40 ppm



Anexo B.2: muestra *Cedrela Odorata L.* 1 mm y 5 g. 60 ppm



Anexo B.3: muestra *Cedrela Odorata L.* 1 mm y 5 g. 40 ppm

