



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ADSORCIÓN DE ACEITES PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES DE
LUBRICADORA, UTILIZANDO BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR
PRETRATADO CON CERA DE ABEJA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y
Remediación

Profesor Guía

MSc. Daniel Hernán Hidalgo Villalba

Autora

Jennifer Estefania Segovia Carrera

Año

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Adsorción de aceites presentes en aguas residuales de lubricadora, utilizando bagazo de caña de azúcar pretratado con cera de abeja, a través de reuniones periódicas con la estudiante Jennifer Estefania Segovia Carrera, en el semestre 201920, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Daniel Hernán Hidalgo Villalba

Magister en Ciencias, Especialización Ingeniería Ambiental

C.I. 180191444-9

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Adsorción de aceites presentes en aguas residuales de lubricadora, utilizando bagazo de caña de azúcar pretratado con cera de abeja, de Jennifer Estefania Segovia Carrera, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Viviana Pavlova Sigcha Terán
Máster en Gestión Integral del Agua
C.I. 172221616-3

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Jennifer Estefania Segovia Carrera

C.I. 180456062-9

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme una guía en cada paso que he dado en la vida, a pesar de las adversidades me ha impulsado a seguir adelante. A mis padres que gracias a su esfuerzo, motivación y amor incondicional he logrado culminar una de las metas que más he añorado.

A mi familia y amigos que me han brindado apoyo, risas y consejos cuando lo he necesitado durante este proceso.

A mis profesores, cuya enseñanza a lo largo de la carrera me ha ayudado a crecer de manera profesional y personal. A mi tutor de tesis, quien me ha brindado su valiosa dedicación y guía durante el desarrollo de la presente investigación.

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres, quienes han sido mi inspiración para luchar a diario hasta cumplir mis sueños. Todo esfuerzo vale la pena teniendo personas como ustedes, que son mi razón de ser, mi orgullo y motor de vida.

A mis angelitos que se encuentran en el cielo, quienes me cuidan e iluminan mi vida.

RESUMEN

Las lubricadoras y lavadoras generan altas tasas de contaminación en el Ecuador, esto va acorde a la demanda y existencia de automóviles, donde el contaminante común, en sus aguas residuales, son los lubricantes usados en los que están presentes compuestos químicos peligrosos de difícil degradación, tales como: metales pesados. El mal manejo de estos desechos puede crear una problemática a gran escala al provocar daño a los seres vivos y a su medio ambiente.

Es por eso que, en la presente investigación, se propone un tratamiento por medio de adsorción de aceites presentes en aguas residuales de lubricadora, utilizando bagazo de caña de azúcar pretratado con cera de abeja; para esto se determinó las características y proporciones óptimas de cada componente con el fin de alcanzar la mejor remoción de aceites presentes en una muestra de agua que contiene 3570 mg/l de carga contaminante, mediante la experimentación en pruebas batch, seguido de la variación en porcentaje de la mezcla para analizar el comportamiento de adsorción. Además, se estudió la función de equilibrio de la mezcla por medio del uso de isothermas de adsorción: entre ellas, la isoterma lineal, isoterma de Langmuir, isoterma de Freundlich e isoterma de Redlich – Peterson con ayuda de los análisis de regresión. Asimismo, para conocer las propiedades que tiene el sustrato utilizado, se realizó una caracterización física de las diferentes fracciones de tamaño, donde se calculó la humedad, cenizas, materia orgánica, densidades y porosidad.

El bagazo de caña de azúcar pretratado con cera de abeja presentó características favorables para el tratamiento de adsorción de aceites en el agua residual, ya que tuvo una eficiencia del 61% con una mezcla óptima de bagazo de caña de azúcar de granulometría 1,59 mm y 15% cera de abeja. Tras realizar los análisis de diferentes modelos, la isoterma de Redlich – Peterson fue la que tuvo un mayor ajuste de datos experimentales a la recta determinada con un 92%.

ABSTRACT

Lubricants and car wash activities generates high rates of pollution in Ecuador, this is according to the demand and existence of cars, where the common pollutant in its wastewater is the used lubricants in which dangerous chemical compounds of difficult degradation are present, such as: heavy metals. Mismanagement of these wastes can create a large-scale problem by causing harm to living beings and their environment.

That is why, in the present investigation, a treatment is proposed by the adsorption of oils present in the wastewater of lubricants and car wash activities, using the bagasse of the sugar cane pretreated with beeswax; for this, the optimum characteristics and proportions of each component were determined in order to achieve the best removal of oils present in a water sample containing 3570 mg/l of contaminant load, through experimentation in batch tests, followed by the variation in percentage of the mixture to analyze the behavior of the adsorption. In addition, the equilibrium function of the mixture has been studied by the use of adsorption isotherms, among them: the linear isotherm, Langmuir isotherm, Freundlich isotherm and Redlich - Peterson isotherm with the help of regression analysis. Likewise, to know the properties of the substrate used, a physical characteristic of the different fractions was carried out, where the humidity, ash, organic matter, densities and porosity were calculated.

The sugarcane bagasse pretreated with beeswax had favorable characteristics for the treatment by adsorption of the oils in the residual water, since it had an efficiency of 61% with a mixture of the best combination of cane bagasse with 1,59 mm granulometry and 15% of beeswax. After studying the analysis of different models, the Redlich - Peterson isotherm was the best model because the experimental data adjusted to the line with 92%.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Marco referencial	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Alcance.....	6
1.5. Justificación.....	6
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Sector automotriz	8
2.2. La actividad de las mecánicas, vulcanizadoras, lubricadoras y lavadoras de vehículos	9
2.2.1. Mecánicas	9
2.2.2. Vulcanizadoras	10
2.2.3. Lubricadoras y lavadoras	12
2.3. Aguas residuales de las actividades de lavado y lubricado automotriz	14
2.3.1. Impactos de las aguas residuales de las lavadoras y lubricadoras ..	20
2.3.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales con aceites lubricantes	22
2.4. Adsorción	23
2.4.1. Tipos de adsorbentes	23
2.4.1.1. Adsorbentes sintéticos	23
2.4.1.2. Adsorbentes naturales.....	24
2.5. Isotermas de adsorción	24
2.5.1. Isoterma lineal	25
2.5.2. Isoterma de Langmuir	25

2.5.3. Isoterma de Freundlich	26
2.5.3.4. Isoterma de Redlich – Peterson	26
2.6. Bagazo de caña de azúcar	27
2.6.1. Bagazo de caña de azúcar como material bioadsorbente	28
2.7. Cera de abeja	28
2.7.1. Uso de la cera de abeja como agente hidrofobante en el bagazo de caña	28
2.8. Marco Legal aplicable	29
3. METODOLOGÍA	30
3.1. Muestra del biomaterial y muestra de agua	30
3.2. Granulometría del bagazo de caña de azúcar	32
3.3. Pruebas preliminares del bagazo de caña de azúcar	32
3.4. Preparación del bioadsorbente	36
3.4.1. Hidrofobación del sustrato	37
3.5. Medición de la concentración de aceites en el agua residual	38
3.6. Acondicionamiento de la muestra de agua residual y experimentación	39
3.6.1. Función de equilibrio de los adsorbentes mediante la utilización de isothermas de adsorción	39
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	44
4.1. Caracterización del bagazo de caña de azúcar para cada uno de los tamaños seleccionados	44
4.1.1. Humedad del bagazo de caña de azúcar	44
4.1.2. Ceniza del bagazo de caña de azúcar	46
4.1.3. Materia orgánica del bagazo de caña de azúcar	47
4.1.4. Densidad del bagazo de caña de azúcar	48
4.1.5. Porosidad del bagazo de caña de azúcar	50
4.1.6. Prueba preliminar a la adsorción del bagazo de caña de azúcar	52

4.2. Curva de calibración.....	52
4.3. Mezcla óptima del bagazo de caña de azúcar con cera de abeja fundida.....	56
4.4. Isotermas de adsorción	62
4.4.1. Isoterma lineal	63
4.4.2. Isoterma de Langmuir	66
4.4.3. Isoterma de Freundlich	69
4.4.4. Isoterma Redlich – Peterson.....	72
4.4.5. Discusión del equilibrio en el proceso de adsorción.....	78
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
5.1. Conclusiones.....	84
5.2. Recomendaciones	85
REFERENCIAS	86
ANEXOS	97

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La generación indiscriminada de residuos sólidos y la descarga de efluentes contaminantes son impactos ambientales considerados de gran preocupación para la población mundial, incrementando la importancia y conciencia de la preservación de los recursos naturales. La alteración de la calidad del agua se ha ido modificando de forma acelerada con el crecimiento de la población, el incremento de la actividad industrial y agrícola además de la influencia del cambio climático (ONU, 2014).

Las descargas de aguas residuales contaminadas, sin tratar, pueden evidenciar cambios negativos en el ecosistema y, por ende esto puede provocar alteraciones en la salud y en las actividades económicas de quienes se encuentren en la región (UNESCO, 2017). Los problemas que esto puede provocar, son principalmente riesgos de intoxicación, proliferación de vectores como insectos portadores de enfermedades, cambio en las características fisicoquímicas de los efluentes; además, esto incita a la pérdida de especies biológicas de la zona (AGUA, 2017). Los contaminantes que acarrear mayor problemática a nivel mundial en la actualidad, son productos provenientes de hidrocarburos, cuyos derivados se suelen usar en grandes cantidades, generalmente como lubricantes. Según la OMS, la mala manipulación y el mal almacenamiento de los mismos son comunes en todas las partes del globo terráqueo y muchas veces estos pueden incidir en vertidos, si no se toman las medidas adecuadas (OMS, 2006).

En el Ecuador, este tipo de contaminantes se evidenciaron con la presencia de petróleo cuando se realizó el primer pozo denominado Ancón 1 en Santa Elena. Para gestionar las actividades petroleras que se ejecutaban en el lugar, se fundó la institución del estado llamada la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE), en el año 1972. Esta corporación edificó la mayor fracción de la infraestructura petrolera que se encuentra actualmente en el país e

impulsó el hallazgo de nuevos campos petroleros para poder producir y comercializar derivados de hidrocarburos. Al cabo de 17 años, se estipuló la Ley Especial número 45 donde se estableció la creación de la Empresa Estatal Petróleos del Ecuador, también conocida como Petroecuador, la cual asumió las acciones de las que se encargaron CEPE y Texaco. “Petroecuador amplió la capacidad de operación de las refinerías, el almacenamiento de petróleo y derivados, tanto en las plantas refinadoras como en terminales” (EP Petroecuador, 2013).

Hoy en día en el Ecuador, la explotación de petróleo es una de las actividades económicas más representativas debido a que, Carlos Pérez, Ministro de Hidrocarburos, Electricidad y Minería del año 2018, mencionó que este sector representa aproximadamente el 10% del Producto Interno Bruto del país (Ecuador Inmediato, 2018).

Uno de los derivados de petróleo más utilizados actualmente es el de los lubricantes, cuyo uso se ha dado desde hace mucho tiempo. Los egipcios llegaron a usar grasa animal como lubricante para solventar los inconvenientes que tenían sus carrozas (Albarracín, 2006); las grasas de origen natural fueron empleadas hasta alrededor del siglo XIX, época en la cual los lubricantes realizados con base en aceites minerales fueron creados. Por esta razón al comienzo del siglo XX hubo una presión en cuanto al incremento de estas grasas mejoradas, ya que se tenía que solventar los inconvenientes que podían tener motores para vehículos, agrícolas e industriales (El Comercio, 2012).

En la actualidad, los lubricantes mayormente empleados en la industria son provenientes de petróleo, debido a su alta estabilidad y abundancia para retribuir las exigencias que demanda el crecimiento exponencial de industrias y automóviles. Esto provoca que aquellos puntos sean focos emisores de contaminantes, que en su gran mayoría son depositados en fuentes hídricas por la falta de un tratamiento adecuado (Correia, Costa, Luis, & Livingstone, 2003).

A pesar de ser un sector estratégico del país, esta actividad es controversial debido a que causa diversos impactos tanto social como ambiental ya que, en muchos casos, se ha liberado contaminantes al ecosistema y estos no han sido tratados previo a su descarga (Vale, Pérez, & Ramírez, 2016).

Los lubricantes usados son derivados de petróleo con una combinación de bifenilos policlorados, aromáticos policíclicos, metales pesados y otros contaminantes que originan el daño tanto del ambiente como de la salud de los seres vivos; cabe recalcar que debido a los componentes y estructura de este material, se requiere una ardua descontaminación debido a que los derivados de petróleo generalmente no se pueden eliminar de los diferentes efluentes por procedimientos convencionales (MINAMBIENTE, 2014).

1.2. Marco referencial

Los derivados de petróleo son una mezcla entre hidrocarburos y compuestos con diversas propiedades fisicoquímicas, los cuales establecen su comportamiento y uso, esto define el grado de impacto que podría tener en los recursos naturales del ecosistema. Los lubricantes empleados en motores de autos, se estiman como una mezcla de químicos considerablemente dañinos al estar compuestos por solventes clorados, fenoles, metales pesados y componentes heteroatómicos polares (Ngabe, Scott, & Bidleman, 2000). Uno de los compuestos más tóxicos de los derivados de petróleo son los hidrocarburos aromáticos, debido a que son toxinas agudas en las que se imparte una actividad carcinogénica (Botello, 1978).

Otro compuesto común en las aguas residuales con lubricantes es el benceno, donde estudios determinan que puede provocar efectos en la salud de forma aguda o a largo plazo, de los cuales se puede destacar el cáncer y anemia aplásica. Para la Organización Mundial de la Salud, se requiere reducir el uso y liberación de derivados de petróleo con alto contenido de benceno para poder limitar la exposición de este compuesto en el ambiente, mediante la utilización

de productos alternativos en industrias, y la implementación de políticas para evitar el uso de benceno en estos productos. Además, es importante promover una concientización del buen manejo de este desecho e implementar tratamientos innovadores para la remoción del derivado de petróleo (OMS, 2010).

Según estudios realizados en la Amazonía del Ecuador, los efluentes tienen una gran influencia de contaminación por derivados de petróleo, los cuales han superado el límite permisible. Se identificaron índices de toxicidad por la aparición de hongos en la epidermis, dolor de cabeza u oídos, irritación de ojos y gastritis en las mujeres de la comunidad (San Sebastián, Armstrong, & Stephens, 2001).

Existe una gran cantidad de aceites lubricantes usados, debido a que esto va acorde a la cantidad de automóviles que se encuentran en el país. Según el INEC, entidad que recopiló datos de diversas fuentes, tales como: las Comisiones de Tránsito y Transporte Terrestre, Direcciones Generales de Tránsito, Empresas de Ferrocarriles del Estado, entre otros; determinó que hasta el año 2016 hubo una existencia de 2 056 213 vehículos (INEC, 2016). Abundando en el hecho, la comercialización de vehículos ha aumentado considerablemente, puesto que en los primeros cuatro meses del 2018 se vendieron 43 663 autos y se estimaba que las ventas al final del ese año serían de aproximadamente 12 0000 (Revista Lideres, 2018).

Las lubricadoras que trabajan de manera ilegal, son aquellas que usualmente descargan sus aguas residuales, sin tratamiento previo, a los ríos que se encuentran cercanos, lo cual provoca que se altere la calidad de agua en gran volumen. Estos compuestos pueden llegar a modificar los aspectos fisicoquímicos del agua, tales como el pH, haciendo que la mayor parte de sistemas con el que tenga contacto, llegue a ser afectado de forma negativa (Vale et al., 2016). Es por eso que, en el aspecto ambiental, uno de los recursos con mayor afectación es el hídrico; estudios determinan que la calidad del agua ha sido afectada debido a que este tipo de hidrocarburo flota por el

medio acuoso a causa de la diferencia de densidad, lo que provoca que la luz no penetre por este medio, por ende, las poblaciones que se encuentren en él, sean afectadas directamente (Bento, Oliveira, & Okeke, 2003).

Además, el deterioro de la calidad del agua se convierte en un obstáculo para las actividades económicas, ya que puede llegar a incidir en la productividad agrícola e industrial que dependen del agua, como: la pesca, la acuicultura y el turismo, de forma que puede limitar el consumo nacional y la exportación de estos productos al encontrarse contaminados o no exista una cantidad significativa para proceder a la venta (UNESCO, 2017).

El manejo de lubricantes usados es un reto para los propietarios de las lubricadoras, ya que estos desechos son considerados altamente peligrosos (MINAMBIENTE, 2014). Hoy en día, las investigaciones realizadas en el campo científico, ha logrado remover derivados de petróleo en aguas residuales por medio de la aplicación de adsorbentes naturales (Armada, Barquinero, & Capote, 2008). El bagazo de caña de azúcar en la actualidad no tiene una gran variedad de aplicaciones y es por eso que usualmente se convierte en un residuo; sin embargo, los habitantes de la ciudad de Baños usan este recurso como abono para mejorar la calidad de sus cosechas. Es por eso que esta investigación se enfocará en la utilización de bagazo de caña de azúcar con un pretratamiento de cera de abeja, para lograr determinar la capacidad de remoción de lubricantes en aguas residuales provenientes de lubricadoras y así poder reducir costos de tratamiento; además, de dar una vida útil a los desechos de las actividades comerciales de la ciudad de Baños.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Realizar el tratamiento por adsorción de los aceites presentes en aguas residuales de lubricadora, utilizando bagazo de caña de azúcar pretratado con cera de abeja.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la composición óptima de bagazo de caña de azúcar y cera de abeja para la mejor remoción de aceites presentes en aguas residuales de lubricadora.
- Estudiar la función de equilibrio de la mezcla óptima de adsorbente con el agua residual de lubricadora.

1.4. Alcance

El presente trabajo se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad de las Américas, con el fin de estudiar el tratamiento de los aceites que contaminan las aguas residuales de lubricadora mediante adsorción con bagazo de caña de azúcar pretratado con cera de abeja. Para lo cual se determinó la mejor mezcla del bagazo, proveniente de actividades comerciales del cantón Baños, al someterlo a un tratamiento previo de cera de abeja, potenciando la remoción del contaminante, además, se determinó la función de equilibrio de la mezcla óptima mediante isotermas de adsorción para el aceite lubricante, por medio de pruebas batch.

1.5. Justificación

Las descargas de aguas residuales de lubricadoras que no tienen un tratamiento adecuado, son un inconveniente para todos quienes viven en la zona debido a que este puede llegar a provocar pérdidas económicas por el daño de cultivos aledaños, trastornos en la calidad de agua y en su medio ambiente; además, puede incitar la generación de enfermedades a las comunidades que tengan influencia (Bravo, 2007). El tratamiento de agua mediante la remoción de derivados de petróleo por medio de la utilización de bagazo de caña de azúcar con la aplicación previa de cera de abeja, es una alternativa innovadora por su gran efectividad y reutilización del desecho proveniente de la actividad comercial del jugo de caña. Muchas veces estos

residuos no son aprovechados, llevándolos a ser un problema de acumulación ya que son abundantes en el mundo con una producción de aproximadamente 101 a 340 millones de toneladas por año (Huang, Wang, Zhang, Hu, & Luo, 2012); asimismo, estudios determinan que la estructura y las cavidades de las fibras provocan una mejor adhesión (Danglad, Valladares, Cova, & Linero, 2013), siendo materia prima potencial para un bioadsorbente. El bagazo de caña de azúcar se somete a un pretratamiento con cera de abeja debido a las características que esta posee respecto a su solubilidad en agua, por ende, le dará la característica al bagazo de ser hidrófobo, lo que provoca que la materia adsorbente se vuelva adecuada para el efecto, aumentando el área interfacial entre el sólido y líquido (COPRIN, 2012).

El tratamiento de aguas de los efluentes de lubricadoras y el aprovechamiento de desechos como el bagazo de caña de azúcar, juega un papel muy importante. Investigaciones acerca de la remoción de derivados de petróleo mediante la adsorción de bagazo de caña de azúcar, han dado excelentes resultados, por ejemplo, en caso de Danglad, Valladares, Cova y Linero, se logró la remoción de querosén de una mezcla artificial (querosén/agua) al emplear bagazo de caña pretratado con parafina con una eficiencia del 94% (Danglad et al., 2013) y, en la Universidad de Oriente, se logró una remoción de hidrocarburo superior al 90% con la utilización de bagazo de caña de azúcar hidrofobado con surfactante (Poyer, Danglad, & Salazar, 2015). Por otro lado, Martínez, Rodríguez, Esperanza y Leiva en una investigación, lograron remover aceites y grasas por medio del tratamiento de bagazo de caña de azúcar con una eficacia del 98.5%, y también obtuvieron una remoción del 94.8% de hidrocarburos totales (Martinez, Rodriguez, Esperanza, & Leiva, 2013).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sector automotriz

El sector automotriz es representativo en la economía del Ecuador, debido a que este fomenta el ingreso de circulante por medio de los diferentes aranceles, impuestos, comercio y fuentes de empleo. Como se mencionó anteriormente, este sector ha crecido en forma exponencial, ya que está ligado a las actividades productivas en el país de forma directa o indirecta, tales como, mecánicas, lubricadoras, lavadoras, fabricación de combustibles e insumos, transporte, entre otros (UASB, 2009).

En el boletín de cifras de marzo del 2019 de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, se informa que el sector automotriz ha generado aproximadamente 68 115 empleos en el año pasado entre la fabricación, el comercio y reparación de vehículos, por lo cual, el Banco Central del Ecuador estableció una variación anual del PIB del 1,48%. En los meses de enero y febrero del presente año, se ha contabilizado una venta de 20 550 autos con porcentajes mayores de ventas en las provincias de Pichincha y Guayas (33% y 30% respectivamente). El mayor porcentaje de automóviles corresponde a vehículos con motores de combustión interna; sin embargo, se está comercializando, en menor proporción, automóviles con nuevas tecnologías amigables con el ambiente, como son los vehículos híbridos o eléctricos, con ventas de 7 752 y 357 respectivamente desde el año 2016 hasta febrero del 2019 (AEADE, 2019).

Obviamente, todo el parque automotor existente en el Ecuador, mueve la industria relacionada con su mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, a través de mecánicas, vulcanizadoras, lubricadoras y lavadoras de vehículos.

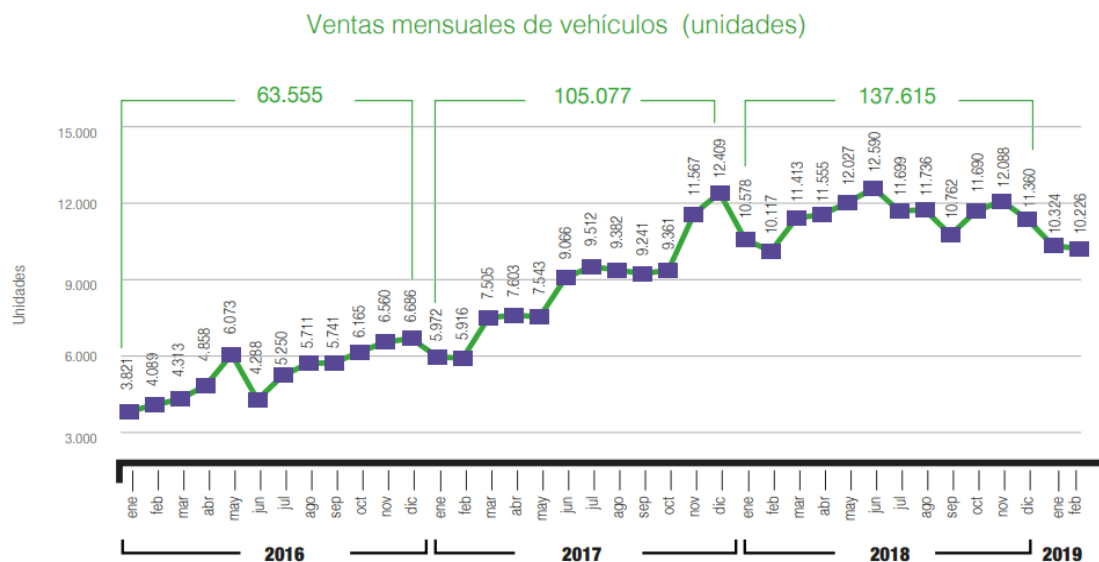


Figura 1. Ventas mensuales de vehículos en el Ecuador desde el año 2016 hasta febrero del año 2019.

Tomado de (AEADE, 2019).

2.2. La actividad de las mecánicas, vulcanizadoras, lubricadoras y lavadoras de vehículos

2.2.1. Mecánicas

Las mecánicas de autos se enfocan en el mantenimiento preventivo y correctivo para preservar el automotor en un estado eficiente, en donde se cambia autopartes, cuando esto sea necesario (Mena, 2009). Actualmente, el área de fabricación de autopartes de vehículos ha generado aproximadamente 1 309 de empleos a los ciudadanos del país mientras que ventas de autopartes generó 22 116 empleos en el 2018 (AEADE, 2019). Como en todo proceso, este produce diversos desechos desde no peligrosos hasta peligrosos, Mena (2009), establece el siguiente listado:

- ❖ Residuos no peligrosos
 - Sólidos
 - Suciedad

- Embalaje de repuestos
- Limalla
- Entre otros

- ❖ Residuos peligrosos
 - Sólidos
 - Residuos textiles producto de limpieza de partes
 - Autopartes
 - Entre otros

 - Líquidos
 - Combustible
 - Líquido de frenos
 - Refrigerantes
 - Entre otros

A pesar que las mecánicas también realizan actividades de vulcanizado, lubricado y lavado, existen establecimientos dedicados únicamente a eso, como se describe a continuación.

2.2.2. Vulcanizadoras

Las vulcanizadoras tienen como objetivo dar un servicio especializado en el mantenimiento de neumáticos de vehículos, de igual forma, se realiza la actividad de inflar neumáticos con aire para mantener su vida útil. Según Mena (2009), los desechos tanto no peligrosos como peligrosos más comunes de esta actividad, son:

- ❖ Residuos no peligrosos
 - Sólidos

- Suciedad

- ❖ Residuos peligrosos
 - Sólidos
 - Residuos textiles producto de limpieza
 - Neumáticos
 - Entre otros

 - Líquidos
 - Combustible
 - Aceite
 - Entre otros

Los principales procesos que se llevan a cabo en estos establecimientos son:

- Balanceo, es una actividad que busca distribuir de forma pareja el peso de los neumáticos con los rines de un automóvil para obtener un equilibrio. Esta actividad se clasifica en el balanceo estático y dinámico; en el estático se coloca pesos minúsculos en el rin hasta lograr la estabilidad deseada, mientras que, en el dinámico se realiza ajustes en los neumáticos dependiendo de su peso (Bridgestone, 2019).

- Alineación, es una actividad en la que se ajustan los neumáticos de un automóvil para que permanezcan paralelas entre sí y vertical a la carretera (Bridgestone, 2019).

- Enlantaje, actividad donde se realiza el cambio de neumáticos cuando los mismos han cumplido con su vida útil. Las importaciones de neumáticos en el Ecuador han aumentado considerablemente para enero del presente año, logrando denotar la gran demanda de estos

artículos en la industria automotriz con 1,389 miles de unidades (AEADE, 2019).

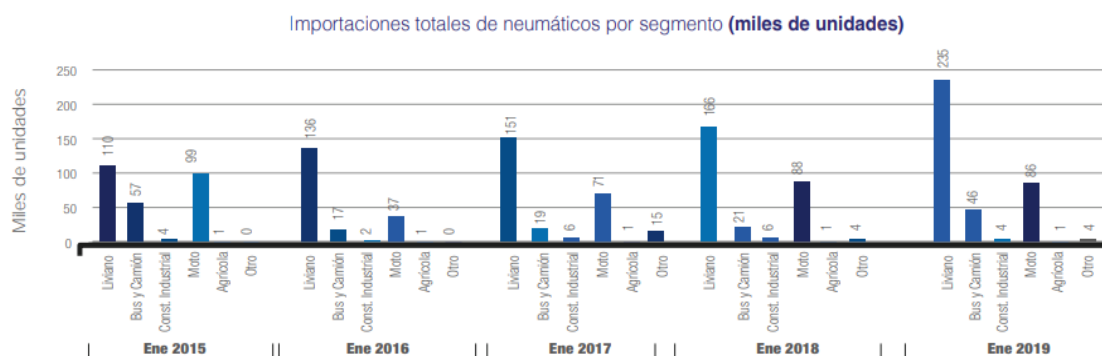


Figura 2. Importaciones de neumáticos de vehículos en el Ecuador desde el año 2015 hasta enero del año 2019.

Tomado de (AEADE, 2019).

2.2.3. Lubricadoras y lavadoras

Actualmente, el área de mantenimiento de vehículos ha generado aproximadamente 22 857 plazas de empleos a los ciudadanos del país (AEADE, 2019). La lubricadora se enfoca en realizar el cambio de aceite de los automóviles, cuando este lubricante se combina con impurezas, agua, elementos metálicos o químicos que provienen del uso cotidiano del vehículo (EPA, 2016). Cuando esto sucede, no se puede reducir la fricción, controlar las zonas de gran temperatura o reducir la corrosión, lo cual, influye directamente en el desgaste del vehículo (Coloma, 2018). Según la Información Ambiental Económica en Empresas, IAEE, la mayor parte de las empresas de transporte y almacenamiento del país, generan una gran cantidad de residuos peligrosos líquidos, donde el mayor porcentaje pertenece a los aceites usados del sector automotriz (INEC, 2017).



Figura 3. Residuos peligrosos líquidos generados por las empresas de transporte y almacenamiento.

Tomado de (INEC, 2017).

Por otro lado, las lavadoras tienen como objetivo realizar la limpieza de vehículos con recursos, tales como: agua, detergente, desengrasante y productos de limpieza, lo cual provoca una gran cantidad de agua residual con diversos tipos de contaminantes (Coloma, 2018).

De acuerdo con Mena (2009), los residuos generados en las actividades que realizan las lubricadoras y las lavadoras, son los siguientes:

- ❖ Residuos no peligrosos
 - Sólidos
 - Suciedad
 - Embalaje de los instrumentos de limpieza

- ❖ Residuos peligrosos
 - Sólidos
 - Residuos textiles producto de limpieza
 - Envases con residuos peligrosos

- Líquidos
 - Combustible
 - Líquido de frenos
 - Refrigerantes
 - Aceites lubricantes
 - Insumos de limpieza
 - Detergentes
 - Desengrasantes
 - Entre otros

2.3. Aguas residuales de las actividades de lavado y lubricado automotriz

Las actividades de lavado y lubricado de vehículos generan un gran porcentaje de contaminantes en sus aguas residuales, ya que, según el INEC (2017), el sector automotriz genera varios residuos líquidos, mismos que se detallan en la siguiente Tabla, con sus respectivos porcentajes:

Tabla 1.

Porcentaje de los residuos peligrosos líquidos por tipo de residuo.

Residuos Peligrosos Líquidos Cantidad de residuos (miles de litros) por tipo de residuo	Valor
	%
Solventes usados	12,0
Ácidos, alcalinos o sales	20,5
Aceites usados	39,7
Fluido refrigerante	0,2
Aditivos cementicos	0,2
Depósitos y residuos químicos	27,3
TOTAL	100

Adaptado de (INEC, 2017).

En los estudios realizados en la IAEE (Información Ambiental Económica en Empresas), se determinó que aproximadamente el 83% de los residuos presentados en la tabla anterior, fueron tratados por empresas calificadas y desechados adecuadamente; mientras que, el resto fue entregado a sociedades artesanales no calificadas, llegando a ser un gran peligro de contaminación para los diferentes recursos naturales, ya que estos no han recibido un tratamiento ambientalmente adecuado (INEC, 2017).

Se puede destacar que los principales productos líquidos de carácter contaminante para las aguas residuales en este sector económico son los siguientes:

- Aceites lubricantes, son usados para disminuir la fricción entre dos superficies e impedir el desgaste inusual de las autopartes móviles. En la antigüedad, los aceites provenían de origen vegetal o animal; a pesar de ello, la industria ha reemplazado estos compuestos por sustancias químicas provenientes de derivados de petróleo, ya que son más estables y resistentes a las variables térmicas (SEMARNAT, 2005). Esta sustancia es insoluble y contiene diversos compuestos químicos tóxicos, tales como metales pesados. Cabe mencionar que su degradación es dificultosa y es adherible a muchas superficies desde suelos hasta seres vivos, además, es conocida como una fuente de contaminación por derivados de hidrocarburos en las carreteras y zonas acuosas (EPA, 2016).

Los aceites lubricantes están compuestos por diferentes aditivos y una base lubricante, la composición de cada uno de estos depende del uso que se le va a dar al aceite, es importante destacar que la base generalmente viene constituida por hidrocarburo. Con el tipo de base del producto, se puede clasificar como un compuesto mineral o sintético, donde el resto de componentes definen sus características y propiedades (Guevara, 2012).

Todo aceite usado en los vehículos es contaminado por impurezas, lo que provoca que sea el residuo más común, ya que se realiza cambios periódicos para mantener el motor, la caja de transmisión y la corona en buen estado. El aceite lubricante tiene un color característico negro por la presencia de carbón quemado, provocando que sus residuos sean evidentes en las superficies que tiene contacto (Mena, 2009). Los aceites lubricantes están constituidos por diversos componentes, mismos que se detallan en la siguiente Tabla, con sus respectivos porcentajes:

Tabla 2.

Porcentaje de las sustancias que constituyen los aceites lubricantes usados.

Composición de los aceites usados	
Tipo de sustancia	Porcentaje
Parafinas Alcanos	45 - 76%
Naftenos Cicloalcanos	13 - 45%
Aromáticos	10 - 30%
Aditivos	15 - 25%

Adaptado de (Mont, 2006).

Por otro lado, el aceite usado puede contener sustancias como: antioxidantes, fenoles, aminas, anticorrosivos, antiespumantes, compuestos clorados y metales pesados debido al contacto con combustible o el roce con el motor de vehículo (Mont, 2006).

Según la Asociación de Productores Ecuatorianos de Lubricantes, en el 2017 se vendió aproximadamente 30 millones de galones de aceites lubricantes entre nacionales e importados, donde el 12,5% son exclusivamente usados por los vehículos mientras que el 87,5% se convierten en desechos (Expreso, 2017).

- Insumos de limpieza, estas sustancias son muy usadas en el proceso de lavado de automóviles, ya que son caracterizados por remover la suciedad que se encuentra en el área de influencia. Generalmente la suciedad es del tipo aceitoso, la cual es removida por absorción con el uso de diferentes jabones, detergentes o desengrasantes sobre una superficie húmeda que provoca que este contaminante sea despojado en forma de gotas hasta provocar una emulsión (Calle, 2013).

Estos insumos son caracterizados por tener pH neutro, debe tener una cantidad moderada de espuma para su rápida remoción y en su composición se puede encontrar compuestos como enzimas, idóneos para reducir o suprimir los componentes que se encuentran en la suciedad del vehículo, además, los aditivos son parte importante de estos insumos debido a que contribuyen en sus características físicas (Waldhoff & Spilker, 2004).

En la Tabla 3 se detallan los típicos componentes que contiene un insumo de limpieza con sus respectivos porcentajes:

Tabla 3.

Porcentaje de las sustancias que constituyen los típicos insumos de limpieza.

Composición de los insumos de limpieza	
Tipo de sustancia	Porcentaje
Surfactante	18 - 25%
Aditivos	40 - 55%
Agentes contra la redeposición	0,5 - 1%
Enzimas	0,3 - 0,8%
Agente blanqueador fluorescente	0,1 - 0,3%
Auxiliares de procesamiento	20 - 35%
Componentes menores	-
Agua	5 - 15%

Adaptado de (Waldhoff & Spilker, 2004).

- Refrigerantes, son sustancias que tienen la función de enfriar un componente por medio de la absorción de calor de otro componente. Es conocido por transportar altas temperaturas desde que es absorbido en la evaporación hasta el sitio donde se desaloja por medio de la condensación (Plazas, 2012). El refrigerante puede presentarse como líquido; sin embargo, se presenta en su mayoría como gases donde su punto de ebullición es bajo provocando que estos compuestos sean altamente volátiles y contaminantes para la atmosfera (Alarcón, 2000). Los refrigerantes más comunes son los siguientes:

- Anhídrido sulfuroso - 10°C
- Cloruro de Metilo - 24°C
- Amoníaco - 33,3°C
- Freón 12 - 29,8°C

Los refrigerantes han sido clasificados por el Reglamento de Seguridad de Plantas e Instalaciones (2012) tomando en cuenta su toxicidad, a continuación, se detalla la clasificación correspondiente:

A: Toxicidad baja o nula (concentración de 400 ppm)

B: Tóxicos (concentración inferior a 400 ppm)

1: No produce combustión

2: Baja combustión

3: Altamente inflamable

Tabla 4.

Clasificación de seguridad de refrigerantes.

Refrigerante	Nombre químico	Grupo de seguridad
12	Diclorodifluorometano	A1
22	Clorodifluorometano	A1
30	Cloruro de metileno	B2

Refrigerante	Nombre químico	Grupo de seguridad
123	2,2-Dicloro-1,1,1-trifluoroetano	B1
134	1,1,1,2-tetrafluoroetano	A1
170	Etano	A3
717	Amoníaco	B2
718	Agua	A2

Adaptado de (Plazas, 2012).

Para recoger los refrigerantes se debe drenar, lavar y rellenar el sistema de enfriamiento para que se mantenga su eficiencia y evite la corrosión de este sistema además de causar el deterioro al motor (Ordoñez, 2012).

- Combustible, es un líquido de suma importancia para el sector automotriz ya que es usado para la combustión en motores, lo cual provoca una gran cantidad de emisiones de CO_2 a la atmósfera (Serrano, 2018). Los combustibles del tipo líquido son conocidos por provenir de la destilación fraccionada de petróleo y sus derivados donde sus principales componentes son el carbono, hidrogeno y azufre. El combustible líquido usado mayormente en los vehículos es la gasolina, una combinación de hidrocarburos líquidos con diversas especificaciones (USON, 2004). A continuación, se detallan las típicas especificaciones:
 - Volatilidad: % volumen de combustible que se evapora a una cierta temperatura.
 - Número o índice de octano: Índice de capacidad de soporte de presión y temperatura alta sin explotar
 - Número o índice de actuación: Energía que se puede obtener de la gasolina que es re cargada.

La energía que libera la gasolina usada en vehículos por unidad de masa en combustión es de alrededor de 41 MJ/kg; mientras que, en MJ/l es de 30,8 (González, 2009). Es por eso que el consumo de gasolina de Ecuador es alto. The U.S. Energy Information Administration determinó que el país ha consumido en promedio 42,93 mil de barriles por día desde el año 1986 a 2016. En 1987 tuvo un consumo de 28 mil de barriles por día mientras que en el 2016 tuvo un consumo de 80 mil de barriles por día (The Global Economy, 2016).

2.3.1. Impactos de las aguas residuales de las lavadoras y lubricadoras

Las aguas residuales de las lavadoras y lubricadoras contienen una gran cantidad de contaminantes, llegando a afectar negativamente a los recursos naturales con los cuales tiene contacto. De igual forma, estos contaminantes pueden provocar daños a los seres vivos directa o indirectamente, debido a que estos compuestos cancerígenos y tóxicos tienen gran movilidad, son persistentes y acumulativos en el medio (Coloma, 2018).

Los contaminantes que aporta el agua residual de lavadoras son provenientes de los productos de limpieza utilizados para eliminar la suciedad de superficies, los detergentes son conocidos por producir diversos impactos con el medio en el que tiene contacto, esto incrementa la cantidad de cloro y componentes organoclorados en el medio (Lechuga, 2005). De igual forma, este producto origina espuma en la superficie del agua, provocando que se impida el ingreso de luz, se reduzca el oxígeno disuelto y esto lleve a la muerte de los organismos que habitan en medio acuoso (Peraza & Delgado, 2012). Otro de los efectos negativos más destacados por los insumos de limpieza es la eutrofización, que puede ser incrementada en el ambiente en gran porcentaje debido al vertido de estos productos que tienen un alto contenido en fósforo y nitrógeno, produciendo un exceso de nutrientes en el agua y un crecimiento descontrolado de microflora. Esto es un inconveniente para el medio, ya que se

modifican las características del agua, impidiendo su uso y alteración de la cadena trófica (Espigares & Perez, 2008).

Por otro lado, el agua residual de lubricadora tiene mayor polución ya que se lo considera un coctel de sustancias antropogénicas de derivados de petróleo, metales pesados, entre otros. Los contaminantes generalmente presentes son el cloro, cromo, níquel, cadmio, disolventes halogenados, plomo, manganeso, hidrocarburos ligeros y compuestos aromáticos tales como el tolueno o el benceno; los cuales pueden llegar a tener un efecto en los órganos respiratorios, riñones o hígado, con efectos anestésicos y narcóticos, pueden provocar parálisis o desarrollar cáncer a largo plazo (Carrizales et al., 1999).

Según estudios, se ha determinado que los contaminantes que poseen las aguas residuales de las lubricadoras pueden persistir en el medio por más de una década, es por esto que, si el agua no recibe un tratamiento apropiado, los seres humanos que tengan contacto con esta tienen la posibilidad de contraer a corto plazo enfermedades estomacales como el vómito, malestares como calambres, enfermedades respiratorias como la neumonía, afectaciones en la piel como la picazón o incluso provocar convulsiones (ATSDR, 1995).

En este tipo de aguas residuales, el compuesto con mayor poder contaminante es el aceite lubricante usado ya que, según estudios realizados por la EPA, se ha manifestado que por cada cambio de aceite se podría afectar aproximadamente un millón de galones de agua (EPA, 2016). Cuando el aceite lubricante tiene contacto con el medio acuoso, este se queda en la superficie con un grosor de aproximadamente 0,2 a 1 mm, logrando alterar las actividades económicas de ese lugar, además de afectar su estado biológico debido a que limita el intercambio gaseoso. Sin embargo, las aguas superficiales no son los únicos medios contaminados, ya que cuando el aceite toma contacto con el suelo, este por infiltración y según su viscosidad y densidad, puede contaminar las aguas subterráneas haciendo de estas un agua no apta para el consumo por su toxicidad (ETAPA, 2019).

2.3.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales con aceites lubricantes

Debido a que esta actividad genera contaminantes significativos, se deben tener en cuenta las guías de prácticas ambientales, ya que son principios básicos relacionados a actividades que pueden producir un impacto al medio ambiente, en estas se establece que este tipo de aguas residuales es prohibido descargarlo al alcantarillado público sin tratamiento previo, por su contenido inflamable y sustancias ácidas o alcalinas (Dirección Metropolitana Ambiental, 2008).

En la actualidad hay diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales con aceites de lubricadora, de forma mecánica, fisicoquímica, química o bioquímica; los tratamientos más comunes que se pueden destacar son los siguientes:

- La filtración es uno de los procesos usados, que tiene el objetivo de separar los contaminantes del agua por medio de un componente usado como filtro, el cual generalmente tiene una alta porosidad para que el contaminante quede atrapado en el filtro haciendo que el contaminante reduzca (Jiménez, 2016).
- En estos establecimientos es común el uso de una trampa de grasas, la cual tiene la función de disminuir la tasa de grasas y aceites antes de ser emitidas al alcantarillado. La implementación de este instrumento parte de una investigación bibliográfica sobre las características fisicoquímicas de la muestra, la tasa de carga y el empleo de cálculos para su diseño (Sánchez, 2011).
- El método de electrocoagulación de la emulsión de aceites, se basa en desestabilizar las gotas de aceite que tiene el agua con el uso de un metal. En este proceso electroquímico que, por medio de componentes de la disolución de un ánodo (placas de aluminio o hierro), se logra

romper la emulsión del aceite, haciendo que este se separe del agua residual con la ayuda del proceso de flotación o decantación (Martínez, 2008).

- Por último, la adsorción, objeto de esta investigación, tiene la capacidad de que un componente contaminante se impregne en la superficie de otro material para retenerlo y disminuir la carga contaminante del agua residual (Ramírez, 2009).

2.4. Adsorción

Adsorción es un método de tratamiento de aguas residuales de forma física, que se da por medio de interrelaciones frágiles de un alcance extendido como se establece en las fuerzas de Van Der Waals, haciendo que un compuesto contaminante se adhiere a la superficie de un material (Valladares, Valerio, de la Cruz, & Melgoza, 2016). El contaminante que es adherido se lo denomina adsorbato; mientras, que el componente en el que se impregna la sustancia se llama adsorbente.

Para el procedimiento de adsorción, se evita materiales que se transformen debido a la interacción de sustancias, evitando que la muestra termine siendo aún más toxica (Sivara, Namasivayam, & Kadirvelu, 2001). Existen diversos elementos que influyen en la adsorción, tales como: el tamaño del adsorbente, el tipo de contaminante en la muestra, el tipo de material usado como adsorbente, el área superficial, la solubilidad y la relación de materia hidrófoba con hidrófila (Fomina & Gadd, 2014).

2.4.1. Tipos de adsorbentes

2.4.1.1. Adsorbentes sintéticos

Los adsorbentes sintéticos son aquellos que son tratados previo su uso, posterior a su uso necesitan ser regenerados; entre estos tipos de adsorbentes

se pueden destacar los siguientes: carbón activado, arenas y zeolitas (Memon & Memon, 2015).

Son muy usados debido a que ocasionan reacciones moleculares de fuerzas de atracción electrostáticas que ayudan a que un contaminante se impregne en la superficie del material (Tao & Rappe, 2014). No obstante, estos tipos de adsorbentes son costosos, lo cual restringe su uso en organizaciones con presupuesto limitado (Valladares et al., 2016).

2.4.1.2. Adsorbentes naturales

Debido al alto costo de los adsorbentes sintéticos, se han realizado diferentes investigaciones de nuevos materiales como adsorbentes, en los que se han usado desechos de diversas industrias como la alimentaria y agroindustrial (Valladares et al., 2016). Los materiales naturales suelen ser desechos de plantas o minerales, tales como: algodón, turba, paja, arcilla, entre otros (Sirotkina & Novoselova, 2005).

El uso de este tipo de adsorbente es una gran oportunidad de aprovechamiento de desechos, gran disponibilidad, ahorro de costos, una alta tasa de adsorción y degradación (Sharma, Kaur, Sharma, & Sahore, 2011).

2.5. Isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción se caracterizan por identificar el equilibrio entre la concentración que se encuentra en el agua residual y la que se presenta en el adsorbente usado, a una temperatura constante, esto explica cuál es la relación entre el adsorbato y el adsorbente (Penedo, Michel, Vendrell, & Salas, 2015). Las isotermas de adsorción que se estudiarán en la presente investigación son la isoterma lineal, isoterma de Langmuir, isoterma de Freundlich e isoterma de Redlich – Peterson.

2.5.1. Isotherma lineal

La isoterma lineal es aquel que describe un equilibrio entre la concentración en una solución y la concentración que es adsorbida por el material adsorbente, este proceso está caracterizado por ser constante hasta un punto de la concentración en que la curva desvía su pendiente y se convierte en una línea horizontal (Rodríguez, Linares, & Guadalupe, 2009).

El modelo de isoterma lineal es el siguiente:

(Ecuación 1)

$$q = K Ceq$$

Donde:

- q es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente
- Ceq es la concentración remanente en equilibrio
- K es el constante de equilibrio

2.5.2. Isotherma de Langmuir

La isoterma de Langmuir se usa para la evaluación de aptitud máxima de adsorción y está basada en los datos que son obtenidos por adsorbentes homogéneos u equivalentes para evitar las interacciones laterales entre componentes del adsorbato sobre las superficies energéticamente homogéneas (Penedo et al., 2015).

El modelo de isoterma establecido por Langmuir es el siguiente:

(Ecuación 2)

$$q = \frac{KbCeq}{(1 + K Ceq)}$$

Donde:

- q es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente
- K y b son constantes
- C_{eq} es la concentración remanente en equilibrio

2.5.3. Isoterma de Freundlich

La isoterma de Freundlich se basa en la adsorción que se da por adsorbentes heterogéneos de multicapas tomando en cuenta que partes de la adsorción son ocupadas en primer lugar por enlaces fuertes y que esta se reduce al incrementar la adsorción (Herrejón & León, 2008).

El modelo de isoterma establecido por Freundlich es el siguiente:

(Ecuación 3)

$$q = K C_{eq}^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

- q es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente
- K y n son constantes de capacidad e intensidad de adsorción respectivamente
- C_{eq} es la concentración remanente en equilibrio

2.5.3.4. Isoterma de Redlich – Peterson

La isoterma de Redlich – Peterson incorpora tres parámetros donde toma en cuenta las características de las isotermas de Freundlich y Langmuir, este modelo conjetura un mecanismo de adsorción de manera híbrida, además, no tiene un comportamiento ideal de monocapa (Cortés, 2007).

El modelo de isoterma establecido por Redlich – Peterson es el siguiente:

(Ecuación 4)

$$q = \frac{KbCeq^n}{(1 + KCeq^n)}$$

Donde:

- q es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente
- K y b son constantes
- Ceq es la concentración remanente en equilibrio
- n es un exponente entre 0 a 1

2.6. Bagazo de caña de azúcar

El bagazo es el residuo que resulta después de pasar la caña de azúcar por un trapiche para la extracción de su jugo, la cantidad de este desecho varía según la humedad, la fibra del sustrato y el tipo de cosecha; se estima que el bagazo es el 30% de la caña de azúcar (Agüero, Pisa, Agüero, & Torres, 2015). El bagazo de caña de azúcar es uno de los desechos con mayor proporción en la Tierra, es por eso que se ha analizado diversos usos para este residuo como abono, producción de energía, construcción de materias primas, entre otros (Poyer et al., 2015).

El bagazo está conformado por dos estructuras donde se puede observar paredes gruesas en la parte de la corteza de la caña de azúcar y en su interior están constituidas por fibras; mientras que, la parte centro de este residuo contiene paredes finas de carácter altamente poroso. La proporción de estos elementos tienen los siguientes porcentajes: fibra 65%, meollo 20% y suciedad aproximadamente 12% (Roca, Glauco, Olivares, & Barbosa, 2006). En cuanto a las características químicas del bagazo de caña de azúcar, se puede destacar la siguiente composición en base seca: celulosa 43,1 - 55%, hemicelulosa 17 - 25,2%, lignina 22,9 - 25%, compuestos minerales 1 - 2,8% y extraíbles 4,3% (Rocha, Gonçalves, Oliveira, Olivares, & Rossella, 2012).

2.6.1. Bagazo de caña de azúcar como material bioadsorbente

El bagazo de caña de azúcar al ser un material altamente poroso, además de presentar cavidades, retiene en su estructura una gran cantidad de compuestos desde diminutos hasta complejos. Según investigaciones, los adsorbentes naturales tienen una estructura química que incide en las interacciones entre los electrones libres del adsorbente y adsorbato provocando una remoción favorable de los contaminantes en el agua (Poyer et al., 2015).

2.7. Cera de abeja

La cera de abeja es una sustancia grasa líquida cristalina de color amarillenta a pardo oscuro proveniente de las abejas obreras que, al estar en el aire ambiente, esta se solidifica en forma de escamas. Tiene un peso específico de aproximadamente $0,972 \text{ kg/dm}^3$, una insolubilidad con el agua y en su composición, se puede identificar ácido cerótico con ácido palmítico, los cuales se descomponen en miricina, cerina y ceroleína. Actualmente, la cera de abeja tiene usos industriales, comerciales y cosmetológicas, en este caso, fue empleado como uso de investigación (Mendizabal, 2005).

2.7.1. Uso de la cera de abeja como agente hidrofobante en el bagazo de caña

En investigaciones se proporcionan propiedades hidrofóbicas a los adsorbentes, para esto, se usan sustancias como la parafina, silicio o aceite de petróleo. En esta investigación, se tomó en cuenta la cera de abeja, cuyas propiedades son similares a las antes mencionadas, ya que este tiene una alta adhesión al material adsorbente, no es soluble y su distribución es uniforme (Sirotkina & Novoselova, 2005). De igual manera, provoca que el bagazo de caña de azúcar tenga las condiciones adecuadas para la adsorción de aceites en el agua residual, por otro lado, este aumenta el área interfacial entre el sólido y líquido (COPRIN, 2012).

2.8. Marco Legal aplicable

En la Constitución del Ecuador, se toma en cuenta la naturaleza o Pacha Mama como un sujeto con derecho, el cual debe ser respetado íntegramente y restaurado cuando ha sido afectado. Es por eso que el Estado y las diferentes entidades ambientales, han decretado medidas de precaución y restricción para actividades que pueden causar un impacto (OAS, 2008).

Unas de las normas que velan el cuidado del medio ambiente de la mala disposición de las aguas residuales de lubricadoras y lavadoras son:

- Código Orgánico Ambiental
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente
- Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas

La calidad del agua se puede identificar por medio de una comparación de las características fisicoquímicas del medio con los estándares establecidos en la legislación ecuatoriana. En la normativa AM 097-A, se identifica estándares que definen los límites máximos permisibles de los niveles de toxicidad tolerables (FAOLEX, 2015).

Tabla 5.

Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario según el AM 097-A.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad	
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	Agua dulce	Agua marina y estuario
			0.3	0.3

Adaptado de (FAOLEX, 2015).

Tabla 6.

Límites de descarga al sistema de alcantarillado público según el AM 097-A.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	70

Adaptado de (FAOLEX, 2015).

Tabla 7.

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce según el AM 097-A.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30

Adaptado de (FAOLEX, 2015).

3. METODOLOGÍA

3.1. Muestra del biomaterial y muestra de agua

Se recolectó el bagazo natural de caña de azúcar en el local comercial de jugo de caña “La Casa Dorada”, ubicada en la vía a Baños a 2 km del Terminal Terrestre Baños de Agua Santa de la provincia de Tungurahua. Se obtuvo el biomaterial mediante el método de cuarteo hasta obtener una muestra significativa que permita realizar los diversos procedimientos.

El agua residual que fue objeto de tratamiento con el bioadsorbente, se originó en una lubricadora ubicada en la ciudad de Quito. La muestra de agua se realizó con el método compuesto en la que se tomó tres submuestras en 3 diferentes horarios, los cuales siguieron las directrices de la “Norma Técnica

Ecuatoriana INEN 2169: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras”.

Tabla 8.

Directrices de la “Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras”

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169	
<u>Preparación de recipientes</u>	
Recipientes de muestras para análisis químicos	Para el análisis de agua residual, fue importante lavar los recipientes con el objetivo de evitar la contaminación de la muestra. En este caso, los recipientes utilizados se los lavó con agua destilada.
<u>Llenado del recipiente</u>	
En muestras para el análisis de parámetros físico químicos, se llenó los recipientes completamente y se tapó de manera que no se encuentre aire sobre la muestra, ya que esto restringe la interacción de la fase gaseosa.	
<u>Identificación de las muestras</u>	
Los recipientes fueron etiquetados de forma clara y permanente de manera que se impidió equivocaciones en el laboratorio.	
<u>Transporte de las muestras</u>	
Los envases con sus correspondientes muestras, fueron sellados y preservados para evitar inconvenientes de pérdidas durante el transporte.	
Mientras se dio la transportación, las muestras se encontraron en un ambiente fresco y fuera del alcance de la luz.	

Adaptado de (INEN, 1998).

3.2. Granulometría del bagazo de caña de azúcar

En la investigación realizada por Danglad, Valladares, Cova y Linero (2013), se recomienda diámetros minúsculos del adsorbente, ya que este tipo de procesos depende de su granulometría; por lo que, a mayor diámetro de caña de azúcar, menor adsorción se efectúa. Es por eso que, en el presente estudio, el bagazo fue molido y se procedió a realizar un análisis granulométrico, el mismo que se realizó con tamices de diferentes tamaños de luz de malla posicionados de forma vertical. Se realizó la identificación de las fracciones de la muestra con diámetros de 2.18 mm, 1.59 mm y 0.74 mm, mediante la incorporación del bagazo de caña de azúcar molido, en la parte superior del conjunto de tamices y su posterior agitación hasta obtener las fracciones.

3.3. Pruebas preliminares del bagazo de caña de azúcar

Se determinó las principales características del bagazo de caña de azúcar tales como humedad, cenizas, materia orgánica y porosidad, las cuales siguieron las siguientes metodologías:

- Tarado de crisol
 - El crisol se colocó a 105°C en una estufa de marca WiseVen durante una hora.
 - Posteriormente, se dejó enfriar el recipiente en un desecador.

- Humedad en base seca
 - Se pesó el crisol en una balanza de marca Sartorius.
 - Se colocó aproximadamente 5 gramos de bagazo de caña de azúcar y se volvió a pesar el recipiente junto con la muestra.
 - La muestra se dispuso a 105 °C en una estufa de marca WiseVen por un tiempo de 24 horas.

- Posteriormente, se dejó enfriar el recipiente en un desecador.
- Se determinó nuevamente el peso del recipiente con la muestra seca.
- Finalmente, se determinó la humedad con la fórmula respectiva.

(Ecuación 5)

$$\%HBS = \frac{Pm - Ps}{Ps - Pr} \times 100$$

Donde:

Pm es el peso del recipiente con la muestra de bagazo de caña de azúcar

Ps es el peso del recipiente con la muestra seca de bagazo de caña de azúcar

Pr es el peso del recipiente

- Humedad en base húmeda
- Se tomó en cuenta el procedimiento realizado anteriormente, sin embargo, se determinó la humedad con la fórmula a continuación:

(Ecuación 6)

$$\%HBH = \frac{Pm - Ps}{Pm - Pr} \times 100$$

Donde:

Pm es el peso del recipiente con la muestra de bagazo de caña de azúcar

Ps es el peso del recipiente con la muestra seca de bagazo de caña de azúcar

Pr es el peso del recipiente

- Cenizas
- Se tomó la muestra anterior, en el cual se determinó humedad y se colocó en una mufla de marca Snol a 550 °C por un tiempo de 4 horas.

- Se dejó enfriar el recipiente en un desecador.
- Se determinó el peso del recipiente con la muestra calcinada en una balanza de marca Sartorius.
- Finalmente, se determinó las cenizas con la fórmula a continuación:

(Ecuación 7)

$$\%C = \frac{P_c - P_r}{P_s - P_r} \times 100$$

Donde:

P_c es el peso del recipiente con la muestra final de bagazo de caña de azúcar después de someterlo a una temperatura de 550 °C

P_r es el peso del recipiente

P_s es el peso del recipiente con la muestra seca de bagazo de caña de azúcar

- Materia orgánica
 - Para este apartado, se tomó en cuenta los resultados obtenidos en cuanto al peso de la materia seca y el peso obtenido de las cenizas.

(Ecuación 8)

$$\%MO = 100\% - \%C$$

Donde:

$\%C$ son las cenizas

- Densidad real
 - Se colocó una cantidad conocida de bagazo de caña de azúcar y se dispuso a 105°C en una estufa de marca WiseVen por un tiempo de 24

horas.

- Se dejó enfriar el recipiente en un desecador y se procedió a pesar en una balanza de marca Sartorius.
- Para determinar el volumen real, se usó una probeta de 500 ml, donde se llenó de agua a 250 ml y se añadió el bagazo de caña de azúcar.
- Se observó el volumen que incrementó en la probeta, que corresponde al volumen real del bagazo, y se aplicó la siguiente fórmula:

(Ecuación 9)

$$DR = \frac{m}{vr}$$

Donde:

m es la masa

vr es el volumen real

- Densidad aparente
 - La muestra seca anterior con la cual se tomó en cuenta para la densidad real, se lo colocó en una probeta de 500 ml.
 - Se observó en el recipiente, el volumen que ocupa el bagazo de caña de azúcar.
 - Finalmente, se determinó la densidad aparente con la fórmula a continuación:

(Ecuación 10)

$$DA = \frac{m}{va}$$

Donde:

m es la masa

va es el volumen aparente

- Porosidad
 - Para este apartado, se tomó en cuenta los resultados obtenidos en cuanto a la densidad aparente y real.

(Ecuación 11)

$$Porosidad = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}$$

Donde:

ρ_a es la densidad aparente

ρ_r es la densidad real

- Flotabilidad

Además, el sustrato se sometió a pruebas preliminares de flotabilidad, en donde el bioadsorbente se incorporó en un recipiente con agua en movimiento y se dejó sedimentar, si más del 90% del bagazo de caña de azúcar queda en la superficie del medio acuoso, simboliza que el contenido ha pasado las pruebas (López, 2014). Al superar estas pruebas, significa que el bagazo de caña de azúcar es el óptimo para el proceso de adsorción.

3.4. Preparación del bioadsorbente

Para la preparación del bioadsorbente, las muestras del bagazo de caña de azúcar fueron lavadas con agua destilada para eliminar las impurezas que estas podían contener, y luego se sometió a un proceso de filtrado (Poyer et al., 2015). El bagazo se secó en una estufa WiseVen a 60°C para que la humedad se reduzca a un 10%; consecutivamente, se dejó reposar por dos horas y se sometió las submuestras a un tratamiento térmico. Posteriormente, el bagazo fue sometido a una temperatura de 200°C por una hora ya que la

rigidez de las fibras del material (correspondiente a lignina) comienza a descomponerse y se evidencia una mayor porosidad (López, 2014).

3.4.1. Hidrofobación del sustrato

El bagazo de caña de azúcar fue recubierto con cera de abeja fundida con porcentajes de 0, 15, 30 y 45%, para darle una mayor característica hidrofobante y así, realizar un cambio en la afinidad superficial. Varios autores recomiendan que el agente hidrofobante se debe colocar en un máximo de 30% m/m debido a que, por encima de este, no existe un efecto significativo de remoción del contaminante (Danglad et al., 2013); sin embargo, se quiso corroborar esta mención añadiendo una última proporción donde sobrepase el máximo estipulado.

El diseño experimental de la mezcla de bagazo de caña de azúcar pretratada con cera de abeja se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.

Diseño experimental de la mezcla de bagazo de caña de azúcar pretratada con cera de abeja

Diámetro del bagazo de caña de azúcar	Cera de abeja fundida	Repeticiones		
		R1	R2	R3
2,18 mm	0%	R1	R2	R3
1,59 mm		R1	R2	R3
0,74 mm		R1	R2	R3
2,18 mm	15%	R1	R2	R3
1,59 mm		R1	R2	R3

Diámetro del bagazo de caña de azúcar	Cera de abeja fundida	Repeticiones		
0,74 mm		R1	R2	R3
2,18 mm	30%	R1	R2	R3
1,59 mm		R1	R2	R3
0,74 mm		R1	R2	R3
2,18 mm		45%	R1	R2
1,59 mm	R1		R2	R3
0,74 mm	R1		R2	R3

3.5. Medición de la concentración de aceites en el agua residual

Inicialmente se determinaron los parámetros de aceites y grasas en el laboratorio CENTROCESAL, a fin de conocer la concentración inicial de aceites en el agua residual, la hoja de resultados se presenta en el Anexo 1.

Para realizar la curva de calibración, se efectuaron distintas diluciones del agua residual luego de tratada con surfactante no iónico, puesto que se conocía la concentración inicial de aceites según el análisis realizado en el laboratorio CENTROCESAL, se calculó las concentraciones de aceites en cada una de las diluciones.

Cada una de las diluciones preparadas se agitó previamente, obteniéndose así varias muestras con diferentes concentraciones conocidas de aceites residuales en el agua, lo que permitió correlacionar dicha concentración con la

turbidez de la muestra (Danglad et al., 2013) medida en un espectrofotómetro marca Macherey-Nagel. Con estos datos se construyó la curva de calibración.

3.6. Acondicionamiento de la muestra de agua residual y experimentación

Posteriormente, se estabilizó la muestra de agua con 1% v/v de surfactante no iónico (Danglad et al., 2013), que en este caso fue VISCAMID 95 con característica biodegradable, el cual facilitó la remoción de este tipo de hidrocarburo y no ocasionará repercusiones en el medio. En la experimentación, se tomó 5 gramos del bagazo de caña de azúcar pretratados, como se encuentra en la Tabla 9, estas se incorporaron en una muestra de agua de 250 ml. La muestra se sometió a una agitación continua por medio del test de jarras de marca VELP Scientifica a una velocidad de 150 rpm, por un tiempo de 4 horas, seguidamente, las pruebas se dejaron en reposo por 24 horas.

Para medir el porcentaje de remoción de aceites lubricantes, se tomó la muestra del agua, la cual se filtró para retener el biomaterial y se realizó el análisis de concentración de aceite en 10 ml, para lo cual se determinó la turbidez en la muestra del efluente, mediante el uso de un espectrofotómetro marca Macherey-Nagel y correlacionando la lectura con la concentración en la curva de calibración previamente construida.

Con los resultados obtenidos se realizó el procesamiento estadístico, mediante las pruebas ANOVA, estadístico T y estadístico de regresión usando los softwares Rstudio y Excel para así obtener la mezcla que logró la mejor remoción.

3.6.1. Función de equilibrio de los adsorbentes mediante la utilización de isothermas de adsorción

Una vez determinada la mejor mezcla de bagazo de caña de azúcar con cera de abeja, se procedió a realizar la experimentación de forma batch. En vasos

de precipitación de 250 ml, se colocó 100 ml de agua residual de lubricadora junto a las diferentes cantidades de mezcla óptima, como se puede observar en el diseño experimental de la Tabla 10.

Se agitó la muestra a temperatura constante de 20°C, durante 4 horas y se dejó reposar por 24 horas a la misma temperatura constante. Se tomó una muestra final del agua, para medir la concentración de contaminante mediante turbidez, utilizando la curva de calibración ya determinada.

Tabla 10.

Diseño experimental del proceso de adsorción.

Diámetro del bagazo de caña de azúcar	Cera de abeja fundida	Cantidad de bagazo de caña de azúcar pretratado	Repeticiones		
Mezcla óptima		0,5 g	R1	R2	R3
		1 g	R1	R2	R3
		2 g	R1	R2	R3
		3 g	R1	R2	R3
		4 g	R1	R2	R3
		5 g	R1	R2	R3
		6 g	R1	R2	R3
		7 g	R1	R2	R3
		8 g	R1	R2	R3

Diámetro del bagazo de caña de azúcar	Cera de abeja fundida	Cantidad de bagazo de caña de azúcar pretratado	Repeticiones		
		9 g	R1	R2	R3

Finalmente, se estableció la función de equilibrio de los adsorbentes mediante pruebas de correlación y análisis estadísticos de los diferentes modelos de isothermas de adsorción, tales como: la isoterma lineal, isoterma de Langmuir, isoterma de Freundlich e isoterma de Redlich – Peterson. El análisis se efectuó mediante regresión lineal de los modelos linealizados, utilizando los softwares Rstudio y Excel; esto ayudó a determinar la cantidad de aceites lubricantes adsorbidos en cada gramo de adsorbente de la mezcla óptima luego de haber estado sometido en las pruebas batch, en relación con la concentración final de aceites lubricantes alcanzados en el agua (concentración de equilibrio).

Los modelos linealizados son los siguientes:

- Isoterma lineal:

Como se mencionó en la ecuación 1, el modelo de la isoterma esta dado por lo siguiente:

$$q = K Ceq$$

Modelo que corresponde al de una recta en el que:

- q es “ y ”
- Ceq es “ x ”
- 0 es el punto de corte

- Isoterma de Langmuir:

Como se mencionó en la ecuación 2, el modelo de la isoterma esta dado por lo siguiente:

$$q = \frac{KbCeq}{(1 + K Ceq)}$$

Este modelo se linealizó para poder realizar el análisis de regresión lineal de las dos variables de interés:

(Ecuación 12)

$$\frac{1}{q} = \frac{1 + K Ceq}{Kb Ceq}$$

(Ecuación 13)

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{Kb Ceq} + \frac{1}{b}$$

Modelo que corresponde al de una recta en el que:

- $\frac{1}{q}$ es "y"
- $\frac{1}{Ceq}$ es "x"
- $\frac{1}{Kb}$ es la pendiente de la recta
- $\frac{1}{b}$ es el punto de corte

- Isoterma de Freundlich:

Como se mencionó en la ecuación 3, el modelo de la isoterma esta dado por lo siguiente:

$$q = K Ceq^{\frac{1}{n}}$$

Este modelo se linealizó para poder realizar el análisis de regresión lineal de las dos variables de interés:

(Ecuación 14)

$$\log q = \log K Ceq^{\frac{1}{n}}$$

(Ecuación 15)

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log Ceq$$

Modelo que corresponde al de una recta en el que:

- $\log q$ es “y”
- $\log Ceq$ es “x”
- $\frac{1}{n}$ es la pendiente de la recta
- $\log K$ es el punto de corte

- Isoterma de Redlich – Peterson:

Como se mencionó en la ecuación 4, el modelo de la isoterma esta dado por lo siguiente:

$$q = \frac{KbCeq^n}{(1 + K Ceq^n)}$$

Este modelo se linealizó para poder realizar el análisis de regresión lineal de las dos variables de interés:

(Ecuación 16)

$$\frac{1}{q} = \frac{1 + KCeq^n}{KbCeq^n}$$

(Ecuación 17)

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{KbCeq^n} + \frac{1}{b}$$

Modelo que corresponde al de una recta en el que:

- $\frac{1}{q}$ es "y"
- $\frac{1}{Ceq^n}$ es "x"
- $\frac{1}{Kb}$ es la pendiente de la recta
- $\frac{1}{b}$ es el punto de corte

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Caracterización del bagazo de caña de azúcar para cada uno de los tamaños seleccionados

Se realizó la caracterización física del bagazo de caña de azúcar para conocer las propiedades de las diferentes fracciones de tamaño, una vez realizada la molienda.

Para cada tamaño, los parámetros caracterizados fueron: humedad, cenizas y materia orgánica, densidades y porosidad.

4.1.1. Humedad del bagazo de caña de azúcar

- **Humedad base seca**

Aplicando la ecuación 5 en función al diámetro, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Diámetro 2,18 mm

$$\%HBS = \frac{43,75g - 43,29g}{43,29g - 38,5g} \times 100$$

$$\%HBS = 0,096 \times 100$$

$$\%HBS = 9,6\%$$

- Diámetro 1,59 mm

$$\%HBS = \frac{41,10g - 40,57g}{40,57g - 36,0g} \times 100$$

$$\%HBS = 0,116 \times 100$$

$$\%HBS = 11,6\%$$

- Diámetro 0,74 mm

$$\%HBS = \frac{44,78g - 44,29g}{44,29g - 39,8g} \times 100$$

$$\%HBS = 0,109 \times 100$$

$$\%HBS = 10,9\%$$

- **Humedad base húmeda**

Aplicando la ecuación 6 en función al diámetro, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Diámetro 2,18 mm

$$\%HBH = \frac{43,75g - 43,29g}{43,75g - 38,5g} \times 100$$

$$\%HBH = 0,087 \times 100$$

$$\%HBH = 8,8\%$$

- Diámetro 1,59 mm

$$\%HBH = \frac{41,10g - 40,57g}{41,10g - 36,0g} \times 100$$

$$\%HBH = 0,104 \times 100$$

$$\%HBH = 10,4\%$$

- Diámetro 0,74 mm

$$\%HBH = \frac{44,78g - 44,29g}{44,78g - 39,8g} \times 100$$

$$\%HBH = 0,098 \times 100$$

$$\%HBH = 9,8\%$$

Teóricamente, el bagazo de caña de azúcar debe tener la misma humedad en los diferentes tamaños de partículas ya que parte del mismo producto, es por eso que se procedió a realizar el promedio, donde se estableció un 10,7% de humedad en base seca. Mientras que, en cuanto a la humedad promedio en base húmeda del bagazo de caña de azúcar se obtuvo 9,66%.

En distintas investigaciones se manifiesta que partículas de mayor tamaño tienen menor capacidad para retener el agua, entre tanto, en las partículas de menor diámetro, se evidencia una mayor cantidad de humedad (Vargas et al., 2008). Este enunciado se comprueba en los resultados obtenidos experimentalmente con los diámetros de 2,18 mm y 0,74 mm; sin embargo, no existe una gran dispersión en los datos de humedad entre los diámetros del bagazo de caña de azúcar.

4.1.2. Ceniza del bagazo de caña de azúcar

Aplicando la ecuación 7 en función al diámetro, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Diámetro 2,18 mm

$$\%C = \frac{38,85g - 38,5g}{43,29g - 38,5g} \times 100$$

$$\%C = 0,073 \times 100$$

$$\%C = 7,3\%$$

- Diámetro 1,59 mm

$$\%C = \frac{36,22g - 36,0g}{40,57g - 36,0g} \times 100$$

$$\%C = 0,048 \times 100$$

$$\%C = 4,8\%$$

- Diámetro 0,74 mm

$$\%C = \frac{39,97g - 39,8g}{44,29g - 39,8g} \times 100$$

$$\%C = 0,037 \times 100$$

$$\%C = 3,7\%$$

Las cenizas obtenidas del bagazo de caña de azúcar tuvieron un promedio de 5,26%, acorde a lo estipulado en distintas investigaciones donde se revela que el porcentaje de cenizas se encuentra entre 2 a 5 %; no obstante, este porcentaje puede elevarse de 12 a 15 % a causa de la mecanización de cosecha y la época de lluvia (Oliva & Antolín, 2004).

4.1.3. Materia orgánica del bagazo de caña de azúcar

Aplicando la ecuación 8 en función al diámetro, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Diámetro 2,18 mm

$$\%MO = 100\% - 7,3\%$$

$$\%MO = 92,7\%$$

- Diámetro 1,59 mm

$$\%MO = 100\% - 4,8\%$$

$$\%MO = 95,2\%$$

- Diámetro 0,74 mm

$$\%MO = 100\% - 3,7\%$$

$$\%MO = 96,3\%$$

La materia orgánica se realizó en base a la determinación de cenizas, debido al peso que se pierde por medio de la volatilización de los compuestos carbonáceos en forma de CO₂, en este parámetro se obtuvo un promedio de 94,73%, el cual fue similar al que García et al. (2011) determinó en su investigación.

4.1.4. Densidad del bagazo de caña de azúcar

- **Densidad real**

Aplicando la ecuación 9 en función al diámetro, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Diámetro 2,18 mm

$$DR = \frac{0,63g}{0,9 ml}$$

$$DR = 0,7 g/ml$$

- Diámetro 1,59 mm

$$DR = \frac{0,68g}{1 ml}$$

$$DR = 0,68 g/ml$$

- Diámetro 0,74 mm

$$DR = \frac{0,72g}{1,1 ml}$$

$$DR = 0,65g/ml$$

La investigación realizada por Pozo (2011), determinó que a medida en que se aumenta la cantidad de bagazo de caña de azúcar, la densidad real disminuye, como se constata en los datos adquiridos en laboratorio. Sin embargo, en otras investigaciones se establece que la densidad real debe ser la misma a pesar de los tamaños de partículas, es por eso que se procedió a realizar el promedio, dando como resultado 0,68 g/ml.

- **Densidad aparente**

Aplicando la ecuación 10 en función al diámetro, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Diámetro 2,18 mm

$$DA = \frac{0,63g}{10ml}$$

$$DA = 0,063 g/ml$$

- Diámetro 1,59 mm

$$DA = \frac{0,68g}{10ml}$$

$$DA = 0,068 g/ml$$

- Diámetro 0,74 mm

$$DA = \frac{0,72g}{10ml}$$

$$DA = 0,072 g/ml$$

Como se puede observar, la densidad aparente obtenida va acorde al tamaño de partícula, concordando con Anicua et al. (2009) que a medida en que se disminuye el diámetro del material, la densidad aparente es mayor.

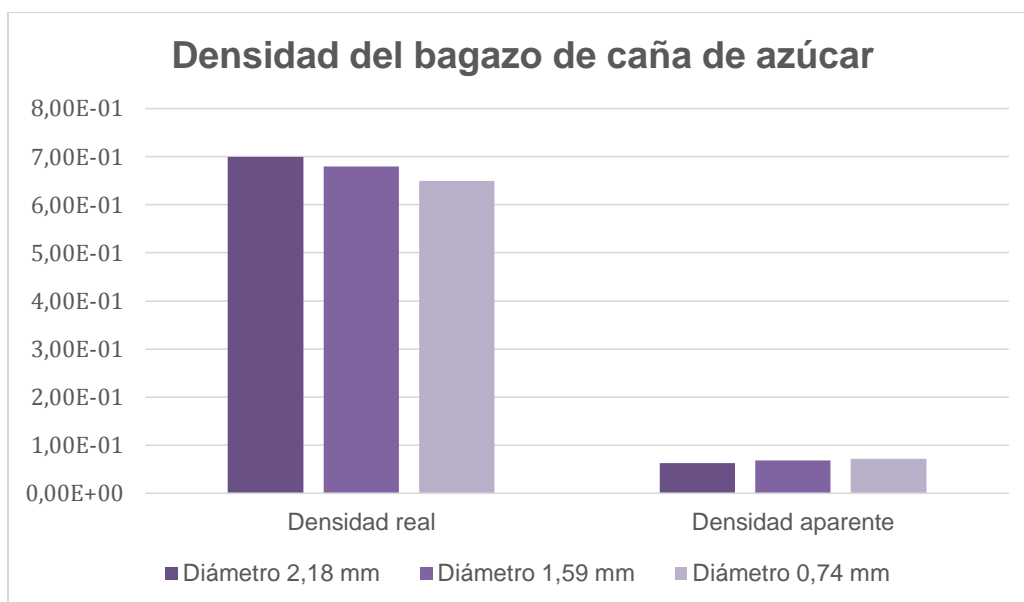


Figura 4. Densidad del bagazo de caña de azúcar.

4.1.5. Porosidad del bagazo de caña de azúcar

Aplicando la ecuación 11 en función al diámetro, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Diámetro 2,18 mm

$$Porosidad = 1 - \frac{0,063 g/ml}{0,68 g/ml}$$

$$Porosidad = 1 - 0,093$$

$$Porosidad = 0,91 \times 100$$

$$Porosidad = 91\%$$

- Diámetro 1,59 mm

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{0,068 \text{ g/ml}}{0,68 \text{ g/ml}}$$

$$\text{Porosidad} = 1 - 0,1$$

$$\text{Porosidad} = 0,9 \times 100$$

$$\text{Porosidad} = 90\%$$

- Diámetro 0,74 mm

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{0,072 \text{ g/ml}}{0,68 \text{ g/ml}}$$

$$\text{Porosidad} = 1 - 0,11$$

$$\text{Porosidad} = 0,89 \times 100$$

$$\text{Porosidad} = 89\%$$

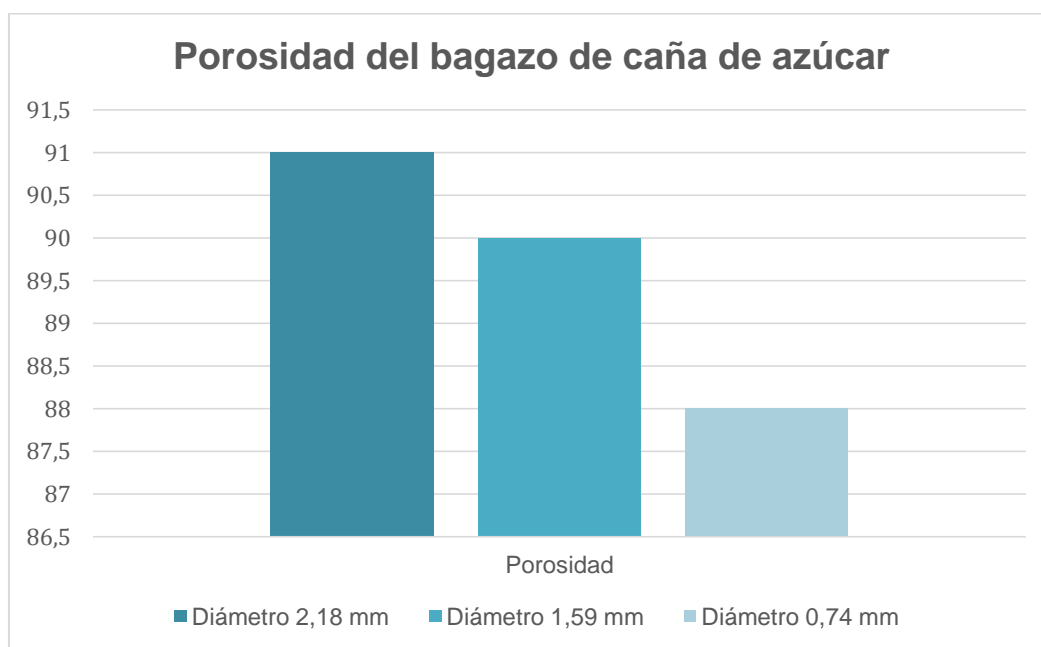


Figura 5. Porosidad del bagazo de caña de azúcar.

En cuanto a la porosidad, los resultados obtenidos mostraron variaciones entre los diámetros de partícula, estos datos se ratificaron con la investigación de

Vargas et al. (2008) donde establecen que la porosidad incrementa cada vez que se aumenta el tamaño de partícula.

4.1.6. Prueba preliminar a la adsorción del bagazo de caña de azúcar

Al someter el bioadsorbente en un recipiente con agua en movimiento y posterior sedimentación, se determinó que el bagazo de caña de azúcar superó estas pruebas, ya que más del 90% del sustrato quedó en la superficie del medio acuoso. El bagazo con diámetro de 2,18 mm superó esta prueba ya que un 96% del material se mantuvo a flote, el de 1,59 mm lo hizo con aproximadamente 94% mientras que el de menor diámetro, 0,74 mm, se quedó en la superficie con un 90%.

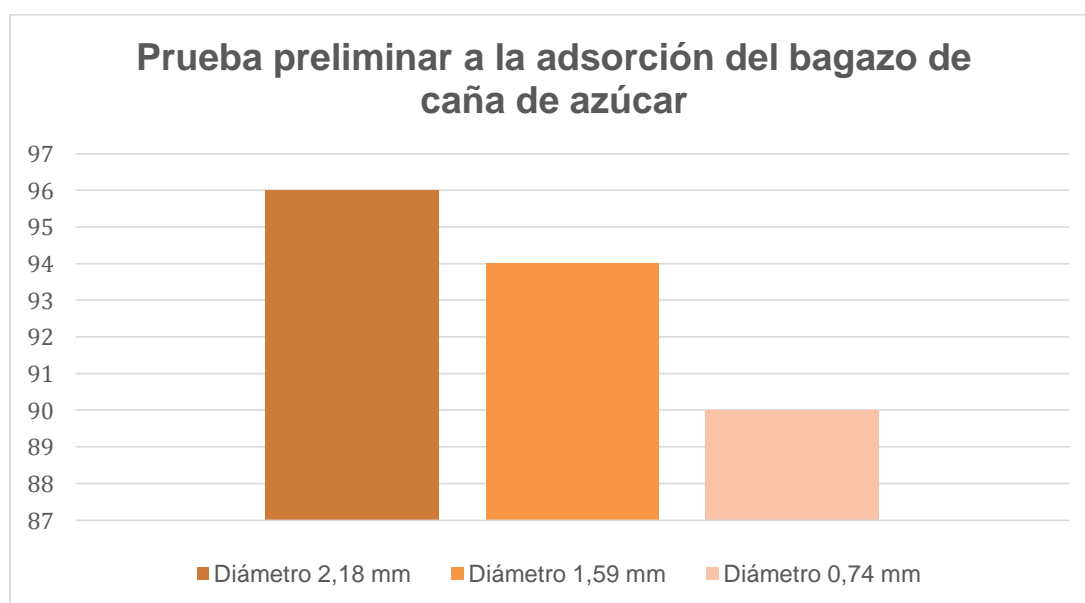


Figura 6. Prueba preliminar a la adsorción del bagazo de caña de azúcar.

4.2. Curva de calibración

Como se mencionó anteriormente, se realizó el análisis de aceites en el agua residual proveniente de lubricadora y lavadora por medio del estudio químico en un laboratorio certificado (CENTROCESAL) en la ciudad de Quito, mismo

que determinó que la muestra de agua contiene 3570,00 mg/l de aceite, superando lo establecido en la legislación ecuatoriana.

El análisis de la curva de calibración permitió conocer la tendencia de los resultados de turbidez obtenidos en el espectrofotómetro y su relación con la concentración de aceites en el agua; además, la gráfica descrita a continuación estipula la ecuación que permitió calcular la concentración de aceites en el agua residual de lubricadora en los tratamientos. Cabe destacar que la ecuación que rige la curva de calibración es $y = 4,1437x$, siendo “ x ” la turbidez e “ y ” la concentración.

Tabla 11.

Determinación de los valores de turbidez y concentración de aceites en el agua residual de lubricadora.

Turbidez (NTU)	Concentración (mg/l)
0	0
1,9	6,97
3,6	13,95
7,5	27,89
16,1	55,78
32,1	111,56
63,5	223,13
112,5	446,25
234,2	892,5
854,8	3570

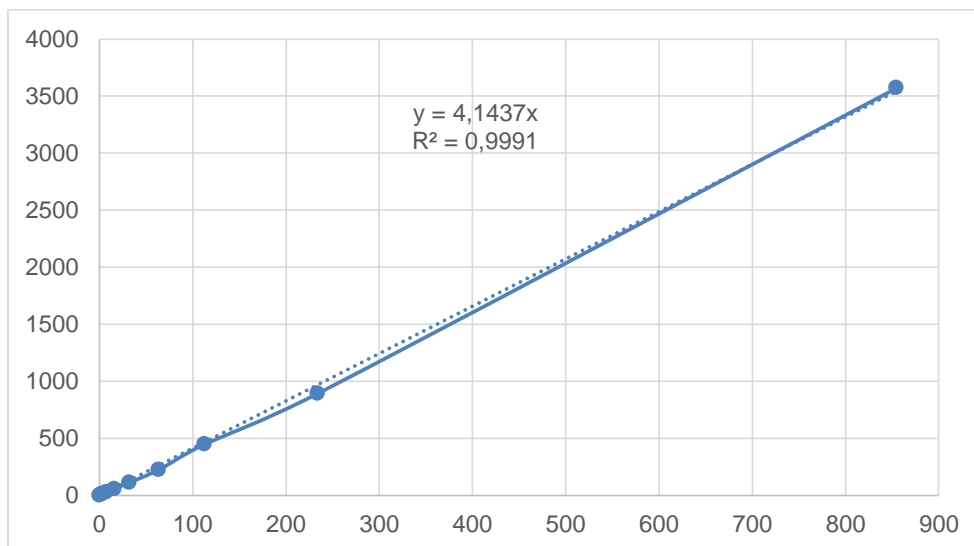


Figura 7. Curva de calibración de turbidez VS concentración de aceite lubricante.

- Hipótesis nula y alternativa

Se realiza un análisis de regresión entre los datos obtenidos para lo cual se plantea dos hipótesis:

- Hipótesis nula: No existe una relación lineal entre las variables de turbidez y concentración.
- Hipótesis alternativa: Existe una relación lineal entre las variables de turbidez y concentración.

En el análisis de varianza que se describe a continuación, se determina estadísticamente que las variables de turbidez y concentración tienen una correlación debido a que el valor obtenido en el parámetro F es mayor al Valor crítico descrito en la Tabla 12.

Tabla 12.

Resultados obtenidos en el análisis de varianza.

	Df	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Valor crítico de F
Regresión	1	13797513,492	13797513,49	13144,808	3,7432E-14
Tratamiento	9	9446,8943489	1049,654928		
Total	10	13806960,386			

La concentración y la turbidez, son variables que tienen una relación lineal ya que en el valor obtenido en el "Estadístico t" es superior a 2, además, la probabilidad obtenida es menor a 0,05, lo cual permite rechazar la hipótesis nula.

Tabla 13.

Resultados obtenidos en el estadístico T.

	Coefficiente	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	0	#N/A	#N/A	#N/A
Turbidez (NTU)	4,1436	0,0361	114,65081	1,48341E-15

Los resultados obtenidos en el análisis de regresión permitieron corroborar que existe una relación entre las variables, ya que el 99,9% de las mediciones se ajustan a la recta determinada.

Tabla 14.

Resumen estadístico de regresión.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,999657835
Coefficiente de determinación R²	0,999315788
R² ajustado	0,888204676
Error típico	32,39837847
Observaciones	10

4.3. Mezcla óptima del bagazo de caña de azúcar con cera de abeja fundida

Para determinar la mezcla óptima del bagazo de caña de azúcar con cera de abeja fundida, se realizaron los 12 tratamientos mencionados en el diseño experimental. A continuación, se presentan los resultados de turbidez obtenidos por medio del análisis con un espectrofotómetro y los respectivos cálculos de concentración de aceites en el agua residual.

Tabla 15.

Resultados de turbidez y concentración de aceites en el agua residual de lubricadora con los diversos tratamientos de granulometría 2,18mm.

2,18mm-0%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
580,2	2404,17	540,5	2239,67	653,8	2709,15
2,18mm-15%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
708,5	2935,81	760,7	3152,11	851	3526,29
2,18mm-30%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
527,7	2186,63	626,5	2596,03	606,4	2512,74
2,18mm-45%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
660,1	2735,26	655,1	2714,54	699,8	2899,76

Tabla 16.

Resultados de turbidez y concentración de aceites en el agua residual de lubricadora con los diversos tratamientos de granulometría 1,59mm.

1,59mm-0%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
478,6	1983,17	645,6	2675,17	511,9	2121,16
1,59mm-15%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
463,1	1918,95	477,7	1979,45	475,5	1970,33

1,59mm-30%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
577,5	2392,99	556,2	2304,73	655,4	2715,78
1,59mm-45%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
553,7	2294,37	538,3	2230,55	586,4	2429,87

Tabla 17.

Resultados de turbidez y concentración de aceites en el agua residual de lubricadora con los diversos tratamientos de granulometría 0,74mm.

0,74mm-0%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
576,3	2388,01	589,4	2442,3	568,3	2354,86
0,74mm-15%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
515,6	2136,49	528	2187,87	552,4	2288,98
0,74mm-30%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
489,6	2028,76	489,5	2028,34	462,4	1916,05
0,74mm-45%					
Turbidez1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
441,9	1831,1	451,2	1869,64	592,6	2455,56

Para obtener la mezcla óptima del bagazo de caña de azúcar con cera de abeja fundida, se ingresaron los datos de concentración de aceites lubricantes tras cada tratamiento en el programa de Rstudio, el cual tomó en cuenta los promedios de las repeticiones determinadas.

Mediante el diagrama de cajas, se puede denotar que existe una gran variabilidad entre la cantidad de remoción y la dispersión de los resultados por cada tratamiento, lo cual favoreció el uso del método estadístico ANOVA. En los siguientes gráficos, se puede observar el comportamiento de los diferentes tratamientos (granulometría con cera de abeja fundida):

Para los gráficos, los valores del eje de ordenadas representan:

0: Concentración inicial sin tratamiento alguno.

1: 2,18mm-0%

2: 2,18mm-15%

3: 2,18mm-30%

4: 2,18mm-45%

5: 1,59mm-0%

6: 1,59mm-15%

7: 1,59mm-30%

8: 1,59mm-45%

9: 0,74 mm-0%

10: 0,74 mm-15%

11: 0,74 mm-30%

12: 0,74 mm-45%

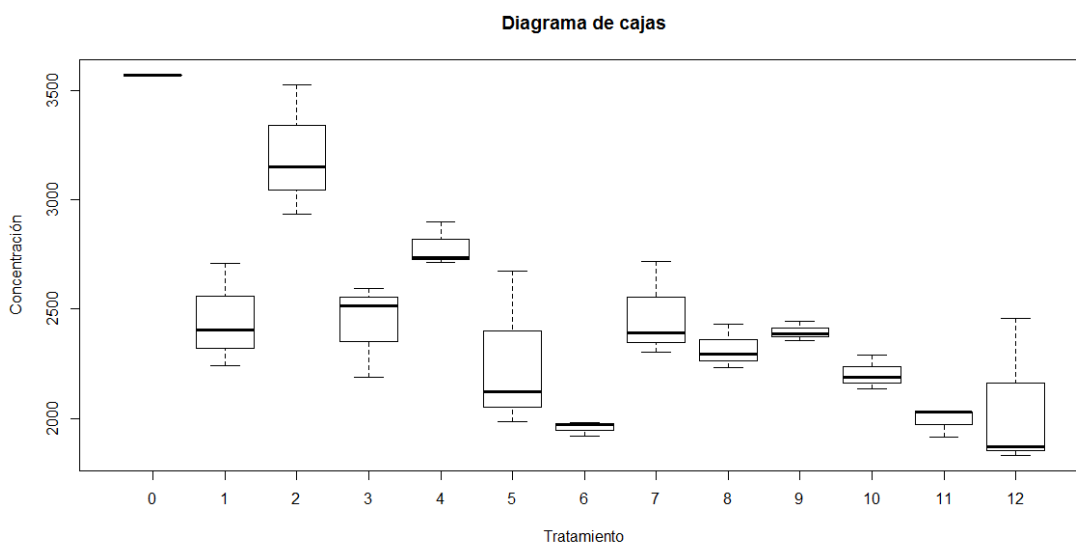


Figura 8. Diagrama de cajas de los tratamientos VS concentración de aceites lubricantes en el agua residual.

- Hipótesis nula y alternativa

Se realiza un análisis de regresión entre los datos obtenidos para lo cual se plantea dos hipótesis:

- Hipótesis nula: No existe una relación lineal entre las variables de turbidez y concentración.
- Hipótesis alternativa: Existe una relación lineal entre las variables de turbidez y concentración.

Al realizar el análisis estadístico ANOVA se pudo denotar que en efecto los resultados obtenidos en el laboratorio tienen relación lineal con los tratamientos realizados, ya que en el estudio se pudo denotar que el valor F de 16,31 es mayor al valor obtenido de 3,81e-09, al igual que en la probabilidad se obtuvo estadísticamente un valor menor a 0,05 haciendo que se rechace la hipótesis nula y se acepte la hipótesis alternativa.

Tabla 18.

Resultados obtenidos en el ANOVA por Rstudio.

	Df	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Valor crítico de F
Tratamiento	12	7983059	665255	16.31	3.81e-09
Residual	26	1060273	40780		

El análisis de regresión por Rstudio, permitió determinar la concentración removida de aceites lubricantes en el agua residual con respecto a cada uno de los tratamientos. El dato obtenido en R^2 comprobó que al menos el 88% de los resultados obtenidos de forma experimental, se debieron al tratamiento que recibieron, mientras que el 12% restante se pudo deber a otros factores.

Tabla 19.

Resultados obtenidos en el análisis de regresión por Rstudio.

Coeficientes:				
	Estimado	Error	Valor t	Pr(> t)
Tratamiento 0	3570.0	116.6	30.620	< 2e-16 ***
Tratamiento 1	-1119.0	164.9	-6.787	3.34e-07 ***
Tratamiento 2	-365.3	164.9	-2.215	0.0357 *
Tratamiento 3	-1138.2	164.9	-6.903	2.50e-07 ***
Tratamiento 4	-786.8	164.9	-4.772	6.14e-05 ***
Tratamiento 5	-1310.2	164.9	-7.946	2.01e-08 ***
Tratamiento 6	-1613.8	164.9	-9.787	3.31e-10 ***
Tratamiento 7	-1098.8	164.9	-6.664	4.54e-07 ***
Tratamiento 8	-1251.7	164.9	-7.592	4.66e-08 ***
Tratamiento 9	-1174.9	164.9	-7.126	1.44e-07 ***
Tratamiento 10	-1365.6	164.9	-8.282	9.18e-09 ***
Tratamiento 11	-1579.0	164.9	-9.576	5.18e-10 ***
Tratamiento 12	-1517.9	164.9	-9.206	1.15e-09 ***

Nota: Códigos de la significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1. Error estándar residual: 201.9 en 26 grados de libertad. R cuadrado múltiple: 0.8828, R cuadrado ajustado: 0.8286. Estadística F: 16.31 en 12 y 26 DF, valor p: 3.811e-09.

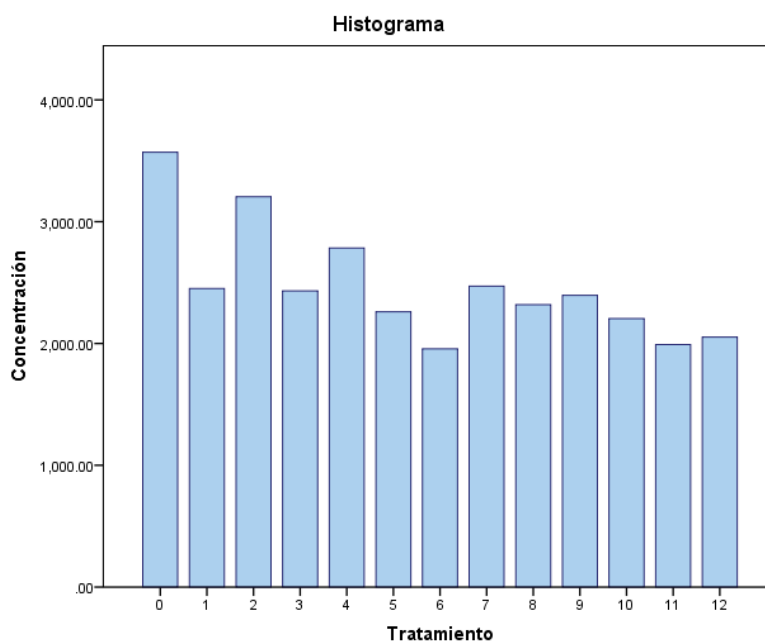


Figura 9. Histograma de los tratamientos VS concentración de aceites lubricantes en el agua residual.

Con los análisis y gráficas descritas anteriormente, se pudo distinguir que entre los tratamientos realizados hubo variaciones significativas; sin embargo, existieron dos tratamientos con efectos similares, los cuales correspondían al tratamiento 6 que pertenece a la granulometría de 1,59mm con 15% cera de abeja y el tratamiento 11 de granulometría 0,74 mm con 30% de cera de abeja. El segundo tratamiento obtuvo una mayor remoción de aceite (45%), no obstante, tuvo una mayor dispersión entre sus repeticiones mientras que el primer tratamiento tuvo datos sin mayor dispersión y su remoción de igual forma fue alta (44%).

El tratamiento escogido como la mezcla óptima fue la del tratamiento 6 de granulometría de 1,59mm con 15% cera de abeja, ya que estadísticamente fue el mejor debido a la baja dispersión entre datos y la tasa de remoción no tenía gran diferencia al tratamiento 11, siendo además, económicamente más viable por la optimización del uso de cera de abeja y el menor esfuerzo de molienda del bagazo de caña de azúcar.

4.4. Isotermas de adsorción

Como se mencionó anteriormente, se realizó varios tratamientos en el agua residual tomando en cuenta el adsorbente óptimo a diferentes cantidades. Los resultados obtenidos en el laboratorio, se encuentran en la Tabla 20.

Tabla 20.

Resultados de turbidez y concentración de aceites en el agua residual de lubricadora con la granulometría de 1,59mm.

1,59mm-15%						
Cantidad mezcla (g)	Turbidez 1 (NTU)	Concentración 1 (mg/l)	Turbidez 2 (NTU)	Concentración 2 (mg/l)	Turbidez 3 (NTU)	Concentración 3 (mg/l)
0,5	550	2279,04	549,3	2276,13	552,7	2290,22
1	496,9	2059,00	510,3	2114,53	513,9	2129,45
2	482,5	1999,34	492,9	2042,43	488,9	2025,85
3	472,2	1956,66	468,2	1940,08	465,6	1929,31
4	458,8	1901,13	456,5	1891,60	448,3	1857,62
5	441,9	1831,10	431,5	1788,01	437,5	1812,87
6	417,7	1730,82	423,3	1754,03	415,1	1720,05
7	405,3	1679,44	391,3	1621,43	395,8	1640,08
8	375,1	1554,30	369,8	1532,34	364,7	1511,21
9	345,4	1431,23	338,9	1404,30	331,3	1372,81

Se realizó el promedio de la concentración de aceite lubricante en el agua residual tras someterlo a los diferentes tratamientos con la mezcla óptima y se evidenció que no existe una gran dispersión entre los datos, por lo que, se procedió a realizar las isotermas de adsorción junto a sus respectivos análisis estadísticos de regresión.

Tabla 21.

Promedio de la concentración de aceites en el agua residual de lubricadora con la granulometría de 1,59mm.

Cantidad de mezcla (g)	Promedio de la concentración	Desviación
0,5	2281,80	6,074286689
1	2100,99	30,30918202

Cantidad de mezcla (g)	Promedio de la concentración	Desviación
2	2022,54	17,74871397
3	1942,01	11,24836264
4	1883,45	18,67374342
5	1810,66	17,66251281
6	1734,97	14,17767222
7	1646,98	24,18144727
8	1532,62	17,59433215
9	1402,78	23,87656688

Con los datos obtenidos experimentalmente, se procedió a calcular los valores requeridos para el análisis de las diferentes isotermas, como se describe en la Tabla 22. En el Anexo 15 se presenta un ejemplo del cálculo realizado.

Tabla 22.

Datos generales obtenidos tras el tratamiento de adsorción.

Cantidad de adsorbente, M (gr)	Concentración remanente (Concentración de equilibrio), C_{eq} (mg/L)	Volumen utilizado, V_m (L)	Cantidad de contaminante presente en el agua, m (mg)	Cantidad de contaminante retenido en el adsorbente, x (mg)
0,00	3570,00	0,150	535,50	0,00
0,50	2281,80	0,150	342,27	193,23
1,00	2100,99	0,150	315,15	220,35
2,00	2022,54	0,150	303,38	232,12
3,00	1942,01	0,150	291,30	244,20
4,00	1883,45	0,150	282,52	252,98
5,00	1810,66	0,150	271,60	263,90
6,00	1734,97	0,150	260,25	275,25
7,00	1646,98	0,150	247,05	288,45
8,00	1532,62	0,150	229,89	305,61
9,00	1402,78	0,150	210,42	325,08

4.4.1. Isotherma lineal

Se realizó el análisis de regresión de los datos para el modelo de isoterma lineal, la ecuación que se aplicó para el análisis de esta isoterma fue la número 1.

Tabla 23.

Datos de concentración en equilibrio para la obtención de la isoterma lineal.

C_{eq} (mg/L)	q = x/M (mg/g)
3570,00	-
2281,80	386,46
2100,99	220,35
2022,54	116,06
1942,01	81,40
1883,45	63,25
1810,66	52,78
1734,97	45,88
1646,98	41,21
1532,62	38,20
1402,78	36,12

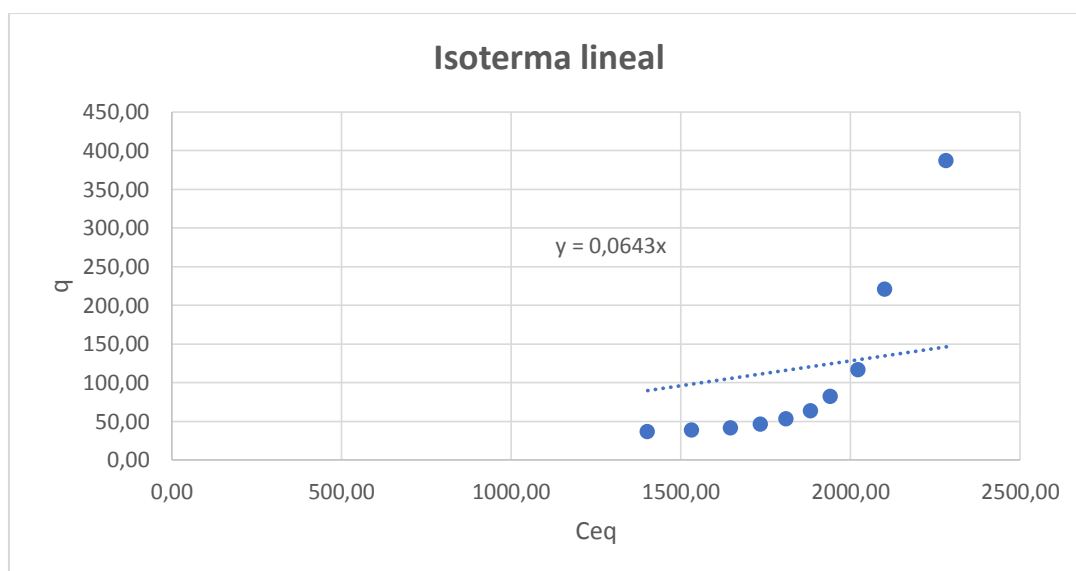


Figura 10. Concentración en equilibrio entre el adsorbente y el adsorbato (Isoterma lineal).

- Hipótesis nula y alternativa

Se realiza un análisis de regresión entre los datos obtenidos para lo cual se plantea dos hipótesis:

- Hipótesis nula: No existe una relación lineal entre las variables de q y C_{eq}
- Hipótesis alternativa: Existe una relación lineal entre las variables de q y C_{eq}

En el análisis de varianza se determinó estadísticamente que las variables con las que se trabajó tienen una correlación lineal de $y = 0,0643x$, correspondiendo “ y ” al valor de q (mg de aceite por mg de adsorbente) y “ x ” a la concentración de equilibrio, ya que el valor obtenido en el parámetro F (14,31830) es mayor al Valor crítico de F (0,005357) descrito en la Tabla 24.

Tabla 24.

Resultados obtenidos en el análisis de varianza.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	142060,25	142060,25	14,31830	0,005357
Residuos	9	89294,235	9921,5817		
Total	10	231354,49			

C_{eq} y q , son variables que tienen una relación lineal debido a que el valor obtenido en el “Estadístico t ” es superior a 2, incluso la probabilidad obtenida es menor a 0,05, lo cual permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa. Además, en la siguiente tabla, muestra que la pendiente fue determinada con una intercepción en 0, como se establece en la isoterma lineal.

Tabla 25.

Resultados obtenidos en el estadístico T.

	Coeficiente	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	0	#N/A	#N/A	#N/A
Variable X 1	0,064310952	0,01699570	3,783953949	0,004322648

Todos los parámetros estadísticos indicaron que existe una correlación lineal entre las variables; sin embargo, no todos los valores experimentales se ajustan correctamente a la recta, esto está dado por el coeficiente de R^2 obtenido en los resultados del análisis de regresión donde establece que el 61% de los datos se ajustan a la recta. Es por eso que se prueban la siguientes isotermas.

Tabla 26.

Resumen estadístico de regresión.

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,783605237
Coeficiente de determinación R^2	0,614037168
R^2 ajustado	0,502926057
Error típico	99,60713694
Observaciones	10

4.4.2. Isoterma de Langmuir

Se realizó el análisis de los datos para el modelo de isoterma establecido por Langmuir, el cual se linealizó para poder realizar el análisis de regresión lineal de las dos variables de interés, tal como se muestra en la ecuación 13.

Tabla 27.

Datos de concentración en equilibrio para la obtención de la isoterma de Langmuir.

$1/C_{eq}$	$1/q$
4,38E-04	2,59E-03
4,76E-04	4,54E-03
4,94E-04	8,62E-03
5,15E-04	1,23E-02
5,31E-04	1,58E-02
5,52E-04	1,89E-02
5,76E-04	2,18E-02
6,07E-04	2,43E-02
6,52E-04	2,62E-02
7,13E-04	2,77E-02

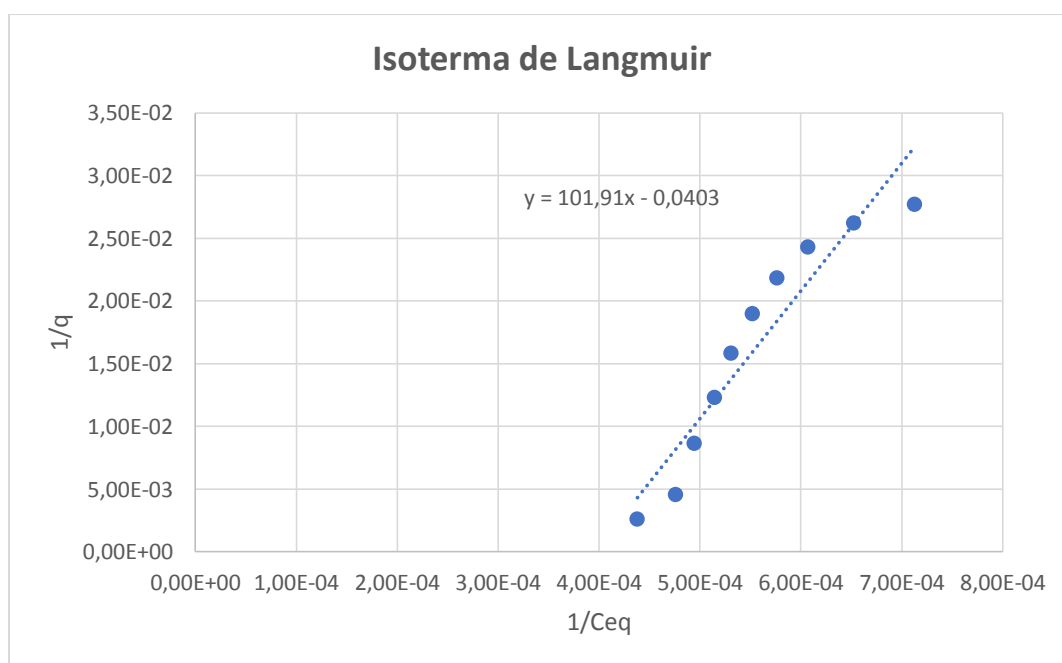


Figura 11. Concentración en equilibrio entre el adsorbente y el adsorbato (Isoterma de Langmuir).

- Hipótesis nula y alternativa

Se realiza un análisis de regresión entre los datos obtenidos para lo cual se plantea dos hipótesis:

- Hipótesis nula: No existe una relación lineal entre las variables de $\frac{1}{q}$

$$y \frac{1}{Ceq}$$

- Hipótesis alternativa: Existe una relación lineal entre las variables de $\frac{1}{q}$ y

$$\frac{1}{Ceq}$$

El análisis de varianza comprueba estadísticamente que las variables de $\frac{1}{q}$ y

$\frac{1}{Ceq}$ tienen relación lineal, motivo que el valor obtenido en F fue de 73,28178

mayor que el valor crítico de F de 2,67364E-05 como se muestra en la Tabla 28. La regresión indica que la relación entre las variables establecidas,

corresponde a la ecuación $y = 101,91x - 0,0403$, donde “y” es el valor de

$\frac{1}{q}$, “x” es el valor de $\frac{1}{Ceq}$, $101,91x$ corresponde a $\frac{1}{Kb}$ (pendiente de la recta) y

0,0403 es $\frac{1}{b}$ (punto de corte).

Tabla 28.

Resultados obtenidos en el análisis de varianza.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,0006578	0,0006578	73,28178	2,67364E-05
Residuos	8	7,1815E-05	8,9769E-06		
Total	9	0,0007296			

Las variables de $\frac{1}{q}$ y $\frac{1}{C_{eq}}$ tienen una relación lineal ya que el valor obtenido de 8,5604783 en el “Estadístico t” es superior a 2. De igual forma, la probabilidad obtenida de 2,67364E-05 es menor a 0,05, permitiendo aceptar la hipótesis alternativa y rechazar la hipótesis nula.

Tabla 29.

Resultados obtenidos en el estadístico T.

	Coefficiente	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-0,040348177	0,00668157	-6,0387239	0,000309764
Variable X 1	101,9124423	11,9049939	8,5604783	2,67364E-05

Los análisis estadísticos permitieron corroborar que existe una relación lineal entre las variables, donde el 90% de los valores experimentales se ajustan correctamente a la recta calculada, esto está dado por el coeficiente de R^2 obtenido en los resultados del análisis de regresión de la Tabla 30.

Tabla 30.

Resumen estadístico de regresión.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94951407
Coefficiente de determinación R²	0,901576969
R² ajustado	0,88927409
Error típico	0,002996144
Observaciones	10

4.4.3. Isoterma de Freundlich

Se realizó el análisis de los datos para el modelo de isoterma establecido por Freundlich, el cual se linealizó para poder realizar el análisis de regresión lineal de las dos variables de interés, tal como se muestra en la ecuación 15.

Tabla 31.

Datos de concentración en equilibrio para la obtención de la isoterma de Freundlich.

log Ceq	log q
3,36	2,59
3,32	2,34
3,31	2,06
3,29	1,91
3,27	1,80
3,26	1,72
3,24	1,66
3,22	1,61
3,19	1,58
3,15	1,56

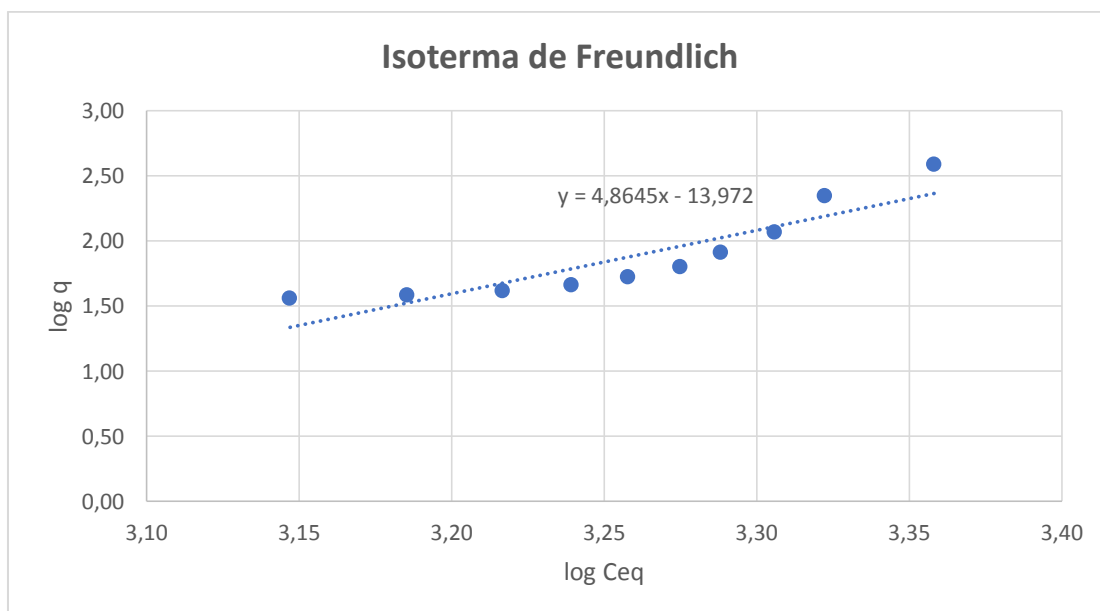


Figura 12. Concentración en equilibrio entre el adsorbente y el adsorbato (Isoterma de Freundlich).

- Hipótesis nula y alternativa

Se realiza un análisis de regresión entre los datos obtenidos para lo cual se plantea dos hipótesis:

- Hipótesis nula: No existe una relación lineal entre las variables de $\log q$ y $\log Ceq$
- Hipótesis alternativa: Existe una relación lineal entre las variables de $\log q$ y $\log Ceq$

Los datos obtenidos en el análisis de varianza demostraron estadísticamente que las variables de $\log q$ y $\log Ceq$ tienen relación lineal, a causa que el valor obtenido en F fue de 34,01038 siendo mayor que el valor crítico de F de 0,0003907, como se muestra en la Tabla 32. La regresión indica que la relación entre las variables, corresponde a la ecuación $y = 4,8645x - 13,972$, donde “y” es el valor de $\log q$, “x” es el valor de $\log Ceq$, $4,8645x$ corresponde a $\frac{1}{n}$ (pendiente de la recta) y 13,972 es $\log K$ (punto de corte).

Tabla 32.

Resultados obtenidos en el análisis de varianza.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,8831691	0,8831691	34,01038	0,0003907
Residuos	8	0,2077410	0,0259676		
Total	9	1,0909102			

Como se describe en la Tabla 33, las variables de $\log q$ y $\log Ceq$ tienen una relación lineal debido a que el valor obtenido de 5,831842496 en el “Estadístico t” es superior a 2; asimismo, la probabilidad obtenida de 0,000390746 es

inferior a 0,05, haciendo que se pueda rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

Tabla 33.

Resultados obtenidos en el estadístico T.

	Coefficiente	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-13,9716612	2,71937846	-5,137814187	0,000887514
Variable X 1	4,86445576	0,83411988	5,831842496	0,000390746

Los parámetros estadísticos mostraron que existe una correlación lineal entre las variables, no obstante, no todos los datos experimentales se ajustan correctamente a la recta debido a que el coeficiente de R^2 obtenido en los resultados del análisis de regresión fue de 0,81, lo que determina que el 81% de los datos obtenidos en el experimento se ajustan a la recta.

Tabla 34.

Resumen estadístico de regresión.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,89976158
Coeficiente de determinación R^2	0,8095709
R^2 ajustado	0,78576727
Error típico	0,16114475
Observaciones	10

4.4.4. Isoterma Redlich – Peterson

Se realizó el análisis de los datos para el modelo de isoterma establecido por Redlich – Peterson, el cual se linealizó para poder realizar el análisis de regresión lineal de las dos variables de interés, tal como se muestra en la ecuación 17.

Para el valor de “n” se consideró el coeficiente de 0,5 y 1,5 debido a que investigaciones determinan el uso de coeficientes menores a 1 (Rodríguez,

Giraldo, & Moreno, 2011); a pesar de ello, se comprobó para valores mayores a 1.

- Para $n = 0,5$

Tabla 35.

Datos de concentración en equilibrio para la obtención de la isoterma de Redlich – Peterson.

$1/q$	$1/C_{eq}^n$
.2,59E-03	2,09E-02
4,54E-03	2,18E-02
8,62E-03	2,22E-02
1,23E-02	2,27E-02
1,58E-02	2,30E-02
1,89E-02	2,35E-02
2,18E-02	2,40E-02
2,43E-02	2,46E-02
2,62E-02	2,55E-02
2,77E-02	2,67E-02

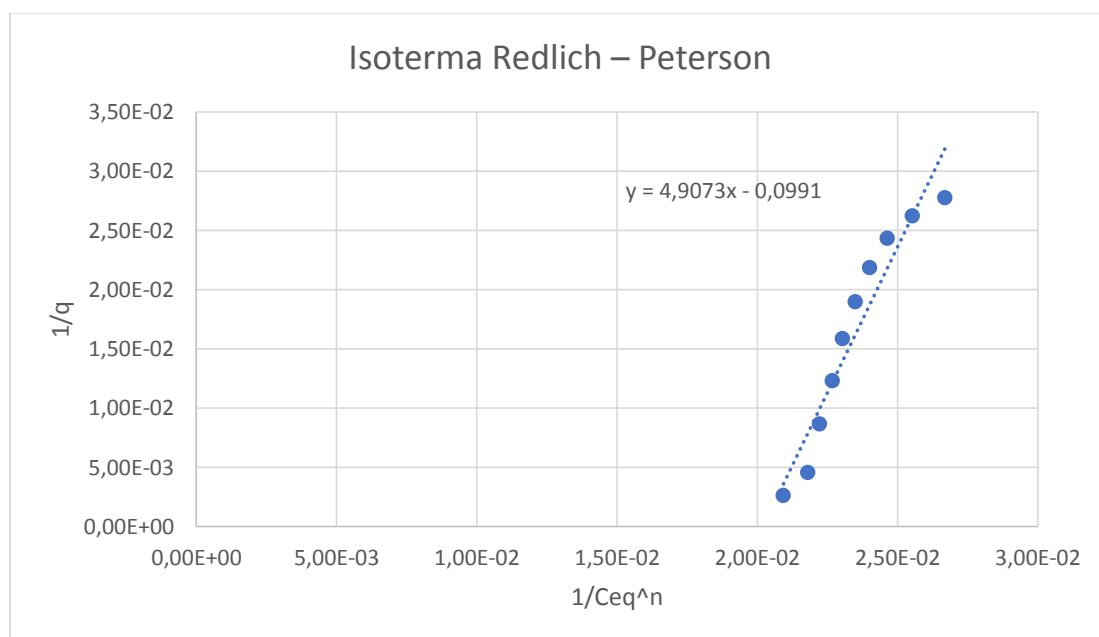


Figura 13. Concentración en equilibrio entre el adsorbente y el adsorbato.

- Hipótesis nula y alternativa

Se realiza un análisis de regresión entre los datos obtenidos para lo cual se plantea dos hipótesis:

- Hipótesis nula: No existe una relación lineal entre las variables de $\frac{1}{q}$ y

$$\frac{1}{Ceq^n}$$

- Hipótesis alternativa: Existe una relación lineal entre las variables de $\frac{1}{q}$ y

$$\frac{1}{Ceq^n}$$

El análisis de varianza demostró estadísticamente que las variables de $\frac{1}{q}$ y

$\frac{1}{Ceq^n}$ tienen relación lineal, debido a que el valor de F (90,918) fue mayor que

su valor crítico (1,20967E-05), como se muestra en la Tabla 36. La regresión indica que la relación entre las variables, corresponde a la ecuación $y =$

$4,9073x - 0,0991$, donde “y” es el valor de $\frac{1}{q}$, “x” es el valor de $\frac{1}{Ceq^n}$,

$4,9073x$ corresponde a $\frac{1}{Kb}$ (pendiente de la recta) y $0,0991$ es $\frac{1}{b}$ (punto de corte).

Tabla 36.

Resultados obtenidos en el análisis de varianza.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,00067064	0,00067064	90,918	1,20967E-05
Residuos	8	5,90108E-05	7,37635E-06		
Total	9	0,00072965			

Una relación lineal se evidencia entre $\frac{1}{q}$ y $\frac{1}{Ceq^n}$ porque en la Tabla 37 se observa que el valor obtenido en el “Estadístico t” de 9,535115683 es mayor a 2, también, la probabilidad obtenida de 1,20967E-05 es menor a 0,05, haciendo que se rechace la hipótesis nula y se acepte la hipótesis alternativa.

Tabla 37.

Resultados obtenidos en el estadístico T.

	Coeficiente	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-0,099106003	0,01213069	-8,169854076	3,75275E-05
Variable X 1	4,907296381	0,51465514	9,535115683	1,20967E-05

Todos los análisis estadísticos permitieron comprobar que existe una relación lineal entre las variables, donde el 92% de los datos experimentales se ajustan correctamente a la recta, lo cual está dado por el coeficiente de R^2 obtenido en los resultados del análisis de regresión de la Tabla 38.

Tabla 38.

Resumen estadístico de regresión.

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,958710219
Coeficiente de determinación R^2	0,919125284
R^2 ajustado	0,909015945
Error típico	0,002715944
Observaciones	10

- Para $n = 1,5$

Tabla 39.

Datos de concentración en equilibrio para la obtención de la isoterma de Redlich – Peterson.

$1/q$	$1/C_{eq}^n$
2,59E-03	9,17E-06
4,54E-03	1,04E-05
8,62E-03	1,10E-05
1,23E-02	1,17E-05
1,58E-02	1,22E-05
1,89E-02	1,30E-05
2,18E-02	1,38E-05
2,43E-02	1,50E-05
2,62E-02	1,67E-05
2,77E-02	1,90E-05

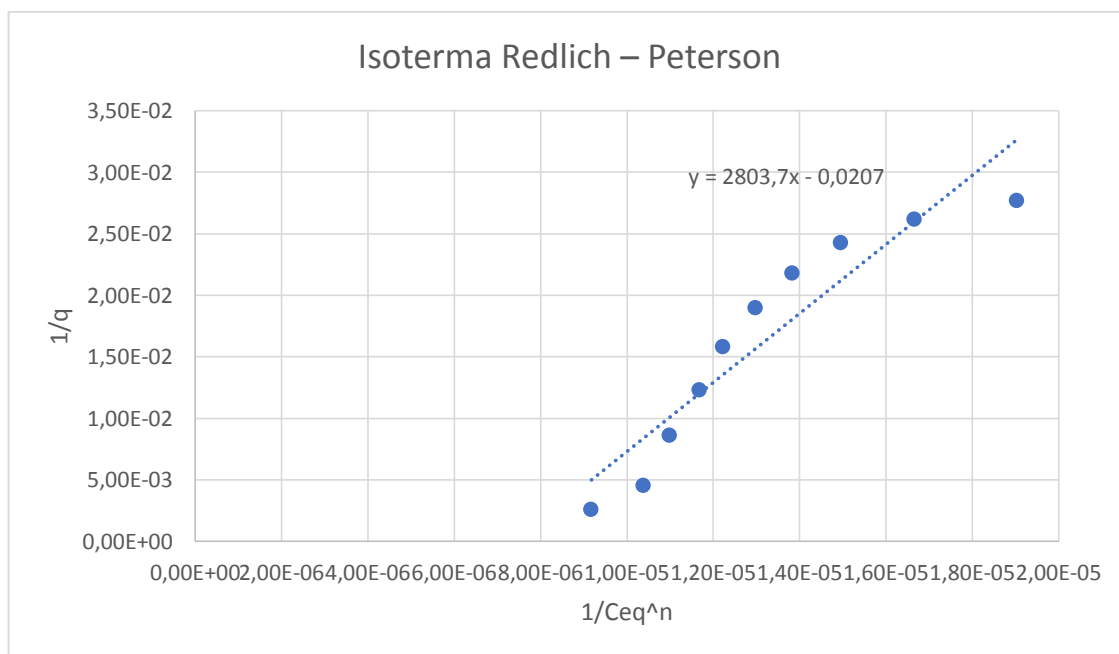


Figura 14. Concentración en equilibrio entre el adsorbente y el adsorbato (Isoterma Redlich – Peterson).

- Hipótesis nula y alternativa

Se realiza un análisis de regresión entre los datos obtenidos para lo cual se plantea dos hipótesis:

- Hipótesis nula: No existe una relación lineal entre las variables de $\frac{1}{q}$ y

$$\frac{1}{Ceq^n}$$

- Hipótesis alternativa: Existe una relación lineal entre las variables de $\frac{1}{q}$ y

$$\frac{1}{Ceq^n}$$

En el análisis de varianza se obtuvo datos que demuestran estadísticamente que las variables de $\frac{1}{q}$ y $\frac{1}{Ceq^n}$ tienen correlación lineal, ya que se pudo observar que el valor F (59,5662) fue mayor que su valor crítico (5,64911E-05), como se muestra en la Tabla 40. La regresión indica que la relación entre las variables, corresponde a la ecuación $y = 2803,7x - 0,0207$, donde “y” es el valor de $\frac{1}{q}$, “x” es el valor de $\frac{1}{Ceq^n}$, 2803,7x corresponde a $\frac{1}{Kb}$ (pendiente de la recta) y 0,0207 es $\frac{1}{b}$ (punto de corte).

Tabla 40.

Resultados obtenidos en el análisis de varianza.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,0006432	0,00064326	59,566	5,64911E-05
Residuos	8	8,6393E-05	1,07991E-05		
Total	9	0,0007296			

Una relación lineal se evidencia en $\frac{1}{q}$ y $\frac{1}{C_{eq}^n}$, ya que en la Tabla 41 se observa que el valor obtenido en el “Estadístico t” de 7,71791908 es mayor a 2. De igual forma, la probabilidad obtenida de 5,64911E-05 es menor a 0,05, provocando que se rechace la hipótesis nula y se acepte la hipótesis alternativa.

Tabla 41.

Resultados obtenidos en el estadístico T.

	Coefficiente	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-0,020723214	0,00490468	-4,225189957	0,002895269
Variable X 1	2803,691297	363,270367	7,71791908	5,64911E-05

Todos los resultados estadísticos indicaron que existe una correlación lineal entre las variables, a pesar de que no todos los datos experimentales se ajustan correctamente a la recta, lo cual está dado por el coeficiente de R^2 de la Tabla 42, donde determina que el 88% de las mediciones se ajustan a la recta.

Tabla 42.

Resumen estadístico de regresión.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,938934361
Coefficiente de determinación R²	0,881597735
R² ajustado	0,866797452
Error típico	0,003286203
Observaciones	10

4.4.5. Discusión del equilibrio en el proceso de adsorción

El bagazo de caña de azúcar al ser sometido al tratamiento térmico, optimizó sus diferentes capacidades como material adsorbente debido a que la prueba

de flotabilidad de este material mejoró al presentar mayor porcentaje de material presente en la superficie que el bagazo sin tratamiento. La rigidez de las fibras del adsorbente se desintegra hasta obtener una superficie porosa con una ligera carbonización, lo cual provoca que exista una mayor adsorción de contaminantes (López, 2014). De igual forma, el bagazo de caña de azúcar con sus características fisicoquímicas ayuda y facilita la retención del aceite lubricante ya que este presenta grupos funcionales del tipo ácido (Castillo, 2017).

La razón por la que se estandarizó la humedad a 10% fue para que el bagazo de caña de azúcar a diferentes diámetros disponga de características similares. Además, evitar que el bagazo de caña de azúcar permanezca a 200°C durante un tiempo prolongado ya que a esta temperatura la muestra pierde peso por proceso de volatilización y descomposición de la lignina debido a que es lo primero en descomponerse; asimismo, la cantidad volatilizada disminuye al transcurrir 60 minutos porque el material volatilizable se ha consumido en su totalidad (Neri et al., 2010).

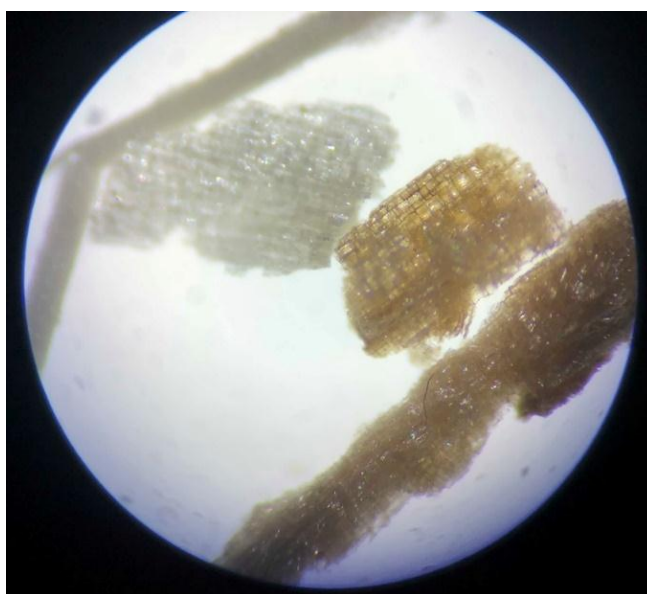


Figura 15. Bagazo de caña de azúcar antes y después del tratamiento térmico vista desde un estereoscopio.

Los análisis realizados demostraron estadísticamente que todos los modelos de isotermas tienen una relación lineal entre las variables de interés. Es importante destacar que para escoger el que mejor se ajusta al proceso de esta investigación, se utilizó el R^2 . Cuyo R^2 se encuentre cercano al valor de 1, es aquel modelo que se ajusta mejor, ya que su valor en porcentaje es el número de datos experimentales que se alinean a la recta. Los valores obtenidos de este parámetro en los diferentes modelos se encuentran en la Figura 16.

Para el gráfico, los valores del eje de ordenadas representan:

- Redlich – Peterson 0,5 (RP - 0,5)
- Langmuir (L)
- Redlich – Peterson 1,5 (RP - 1,5)
- Freundlich (F)
- Lineal (Li)

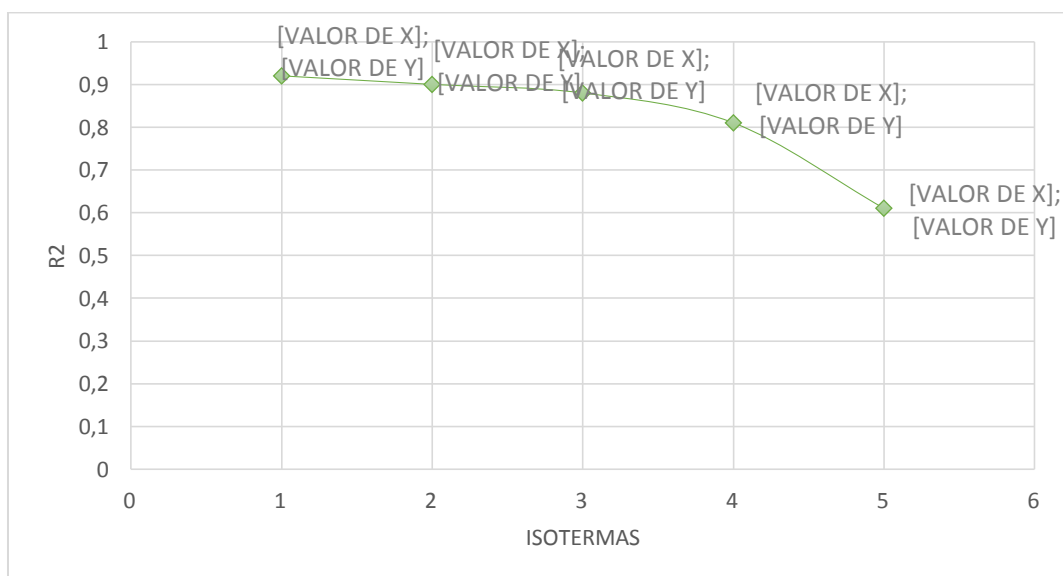


Figura 16. Datos obtenidos de R^2 según el tipo de isoterma.

La isoterma de Redlich – Peterson con el coeficiente de 0,5 fue aquella en la que los resultados se ajustaron mejor al modelo, debido a que se obtuvo un R^2 de 0,92, indicando que el 92% de los datos experimentales se ajustan a la recta.

Analizando la ecuación linealizada del modelo de isoterma de Redlich – Peterson:

(Ecuación 18)

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{Kb} \times \frac{1}{Ceq^n} \right) + \frac{1}{b}$$

Se tienen las variables que se mencionaron anteriormente:

- $\frac{1}{q}$ es “y”
- $\frac{1}{Ceq^n}$ es “x”
- $\frac{1}{Kb}$ es la pendiente de la recta
- $\frac{1}{b}$ es el punto de corte

A partir de la ecuación de ajuste lineal, se despejaron las variables incógnitas correspondientes a las constantes, donde Kb tiene un valor de 0,0098 y K tiene un valor de $-3,95 \times 10^{-4}$. La función que modela el fenómeno de equilibrio de adsorción es la siguiente:

$$q = \frac{0,0098 Ceq^{0,5}}{(1 - 3,95 \times 10^{-4} Ceq^{0,5})}$$

En investigaciones acerca de la remoción de derivados de petróleo mediante la adsorción de bagazo de caña de azúcar, se puede destacar la de Castillo (2017) donde realiza el proceso de retención de petróleo con este tipo de material y al someter los resultados al análisis de isothermas, concluye que el modelo que se ajusta más a recta es la de Freundlich con un R^2 de 0,99 frente a la de Langmuir de R^2 0,097. La diferencia con el modelo escogido en la presente investigación, se puede deber a distintos factores, entre ellos, el

contaminante removido es menos denso que el petróleo usado; además, de las diferentes metodologías aplicadas en cuanto a la preparación del adsorbente.

Otra de las investigaciones destacadas es la de Martínez et al. (2013), quienes usaron bagazo de caña de azúcar natural para remover aceites y grasas de un agua contaminada, donde de igual forma, se realizó el análisis de las isothermas tanto de Freundlich como de Langmuir y se determinó que el modelo que se ajustaba mejor a la recta fue la de Langmuir con un R^2 0,99 frente al modelo de Freundlich con un R^2 0,96.

El uso del bagazo de caña de azúcar es óptimo para la descontaminación de derivados de petróleo, ya que en otros experimentos como en la de Martínez et al. (2013) se logró una remoción de 98,5% de grasas y aceites con la aplicación de bagazo sin tratamiento alguno, teniendo en cuenta que el valor inicial del contaminante fue de aproximadamente 992,00 mg/l. Según Poyer et al. (2015) obtuvieron una remoción de derivados de petróleo con una eficiencia superior al 90% con el uso de una columna rellena de bagazo de caña de azúcar hidrofobado con surfactante, teniendo una concentración inicial promedio de 300 mg/l. Finalmente, Leiva, Martínez, Esperanza, Rodríguez, & Gordiz (2012) lograron remover el 83,58 % (25,21 mg/l de concentración inicial) de aceites con bagazo de caña de azúcar natural en una columna de lecho fijo para el tratamiento de aguas provenientes de una estación de generación de vapor.

Sin embargo, la remoción de aceites lubricantes del agua de lubricadora y lavadora de la presente investigación fue eficiente en un 61% (2167,22 mg/l de remoción) con una concentración inicial de 3570 mg/l y una final de 1402,78 mg/l, a pesar que se logró reducir considerablemente la carga contaminante, este aun supera los límites permisibles dispuestos en la legislación ecuatoriana. La diferencia en cuanto al porcentaje de remoción de derivados de petróleo ante las otras investigaciones mencionadas, se puede deber a que el agua residual tomada tiene una concentración más alta de aceites. Además,

este se encontró en contacto con otros tipos de contaminantes que también pueden ser adsorbidos por el bagazo de caña utilizado, como por ejemplo: combustible, tensoactivos o refrigerantes; restándole así la capacidad de adsorción de los aceites, lo que hace de este un tratamiento complejo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las lubricadoras y lavadoras son establecimientos de gran contaminación en cuanto a aceites y grasas ya que, al caracterizar el agua residual tomada en uno de estos establecimientos, se determinó una carga contaminante de aceites de 3570 mg/l, sobrepasando los límites permisibles dispuestos en la legislación ambiental AM 097-A con 3500 mg/l.

El bagazo de caña de azúcar presentó características favorables para la adsorción debido a la estructura que este posee, las propiedades fisicoquímicas y el bajo costo de su obtención.

El diámetro del bagazo de caña de azúcar y el porcentaje de cera de abeja influyen en el proceso de remoción de aceites, logrando comprobar que, a medida en que se menora el diámetro de partícula, se efectúa una mayor adsorción. De hecho, la mezcla óptima tuvo una granulometría de 1,59 mm de bagazo de caña con 15% cera de abeja y la tasa de remoción de contaminante alcanzada con esta mezcla fue alta en las pruebas batch (44%).

La remoción de aceites en el agua residual se incrementó a medida en que se aumentó la mezcla de adsorbente, a pesar de ello, las muestras de agua tras los tratamientos aun tuvieron una concentración de aceites superiores a los límites permisibles estipulados en la legislación, esto se puede deber a que el agua residual tomada era heterogénea con una concentración extremadamente alta en contaminante. No obstante, se logró una remoción de aceite a una concentración de 1402,78 mg/l, lo cual representa una eficiencia de adsorción del 61%.

El equilibrio del proceso de adsorción estudiado a una temperatura de 20°C, se ajusta a la isoterma de Redlich – Peterson con un n de 0,5 debido a que obtuvo

el mejor coeficiente de determinación (R^2 de 0,92) respecto del resto de modelos estudiados. Este equilibrio se rige por medio de la siguiente función:

$$q = \frac{0,0098 Ceq^{0,5}}{(1 - 3,95 \times 10^{-4} Ceq^{0,5})}$$

5.2. Recomendaciones

Se recomienda probar la mezcla de adsorbente en columnas de adsorción en método continuo para aumentar la tasa de remoción de aceites lubricantes en el agua residual, o a su vez, realizar pruebas a escala piloto para lograr un control en la temperatura y agitación óptima de la mezcla. De igual forma, se puede realizar variaciones en las pruebas de adsorción, tomando en cuenta diámetros de bagazo de caña de azúcar, porcentajes de cera de abeja y cantidad de surfactante distintos a los propuestos en la presente investigación. En el mismo sentido se pueden realizar estudios con otros agentes hidrofobantes para conocer si esto favorece la eficiencia de remoción.

La aplicación de la mezcla de adsorbente propuesta en esta investigación se recomienda realizarlo en aguas residuales con una carga contaminante media; además, el efectuar tratamientos complementarios es otra opción para reducir la carga contaminante y coloración amarillenta que el bagazo de caña de azúcar desprende en el agua a causa de sus propiedades fisicoquímicas.

Finalmente, se recomienda investigar sobre un tratamiento del bagazo de caña de azúcar luego del proceso de adsorción, ya que este contendrá una gran carga contaminante haciéndolo un componente peligroso para el medio ambiente si no se dispone de manera adecuada.

REFERENCIAS

- AEADE. (2019). Sector Automotor en cifras, 30. Recuperado el 20 de Octubre de 2018 de <https://www.aeade.net/boletin-sector-automotor-en-cifras/>
- AGUA. (2017). Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones. Recuperado el 04 de enero de 2019 de <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/>
- Agüero, A., Pisa, J., Agüero, C., & Torres, A. (2015). Poder Calorífico del Bagazo de Caña de Azúcar. *ResearchGate*. Recuperado el 03 de marzo de 2019 de https://www.researchgate.net/publication/266605093_Extension_Poder_Calorifico_del_Bagazo_de_Cana_de_Azucar
- Alarcón, J. (2000). *Tratado práctico de refrigeración automática*. (S. A. Marcombo, Ed.) (12a ed.). Barcelona, España.
- Albarracín, P. (2006). *Tribología Y Lubricación Industrial Y Automotriz*. (L. Editores, Ed.) (4a ed.). Medellín - Colombia.
- Anicua, R., Gutiérrez, C., Sánchez, P., Ortiz, C., Volke, V., & Rubiños, J. (2009). Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Scielo*, 35(2). Recuperado el 22 de febrero de 2019 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000200002
- Armada, A., Barquinero, E., & Capote, E. (2008). Empleo del bagazo como material adsorbente en derrames de petróleo. *Redalyc*. Recuperado el 15 de Octubre de 2018 de <http://www.redalyc.org/html/2231/223120667013/>
- ATSDR. (1995). *Toxicological profile for fuel oils*, 5. Recuperado el 10 de marzo de 2019 de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp75.pdf>
- Bento, F., Oliveira, F., & Okeke, B. (2003). *Bioremediation of soil contaminated by diesel oil*. *Journal of Microbiology*, (34). Recuperado el 18 de noviembre de 2018 de <http://www.scielo.br/pdf/bjm/v34s1/arq22.pdf>

- Botello, A. (1978). Presencia e importancia de hidrocarburos fósiles en el medio ambiente marino. Recuperado el 02 de febrero de 2019 de <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/centro/1979-1/articulo50.html>
- Bravo, E. (2007). Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. Recuperado el 18 de noviembre de 2018 de https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf
- Bridgestone. (2019). ¿Qué es la alineación y el balanceo de un auto? Recuperado el 15 de marzo de 2019 de <https://www.bridgestone.com.mx/es/nosotros/tips-bridgestone/que-es-alineacion-y-balanceo-de-un-auto>
- Calle, L. (2013). *Formulación y evaluación de dispersantes detergentes y desengrasantes biodegradables para derrames en suelo de crudos livianos en la industria petrolera*. Recuperado el 19 de marzo de 2019 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1353/1/T-UCE-0017-33.pdf>
- Carrizales, L., Batres, L., Ortiz, M. D., Mejía, J., Yáñez, L., García, E., ... Díaz, F. (1999). Efectos en la salud asociado con los residuos peligrosos. *Scientiae Naturae*. Recuperado el 20 de febrero de 2019 de <http://ambiental.uaslp.mx/docs/FDB-ResPeligrosos.pdf>
- Castillo, A. (2017). *Adsorbentes naturales en la mitigación del impacto adverso causado por derrames de crudo en fuentes hídricas*. Unilibre. Recuperado el 10 de febrero de 2019 de [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11185/Documento Final 2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11185/Documento%20Final%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Coloma, D. (2018). *Diagnóstico ambiental de la gestión de residuos peligrosos de las mecánicas, lavadoras y lubricadoras del cantón Ambato*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 18 de marzo de 2019 de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9763/1/236T0355>.

pdf

- COPRIN. (2012). Aplicaciones ceras y parafinas. Recuperado el 15 de noviembre de 2018 de <http://www.coprin.cl/aplicaciones-ceras-y-parafinas/>
- Correia, A., Costa, H., Luis, O., & Livingstone, D. (2003). *Age-related changes in the antioxidant enzymes activities, fatty acid composition and lipid peroxidation in whole body Gammarus locusta* (Crustacea: Amphipoda). *ScienceDirect*, 289(1). Recuperado el 10 de diciembre de 2018 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098103000406>
- Cortés, R. (2007). *Efecto de la modificación de una zeolita natural mexicana en la sorción de cadmio y 4-clorofenol*. UAEMex. Recuperado el 15 de enero de 2019 de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/027/39027968.pdf
- Danglad, J., Valladares, S., Cova, A., & Linero, G. (2013). Partículas hidrofobadas de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de hidrocarburos en agua. *Scielo*, 25(1). Recuperado el 13 de octubre de 2018 de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1315-01622013000100011&script=sci_arttext
- Dirección Metropolitana Ambiental. (2008). Guía de prácticas ambientales mecánicas, lubricadoras y lavadoras, 6. Recuperado el 13 de octubre de 2018 de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/biblioteca-digital/category/17-guia-de-tramites%3Fdownload%3D361:mecanicas+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec+>
- Ecuador Inmediato. (2018). Aporte del sector petrolero es del 10% del PIB al Ecuador. Recuperado el 13 de noviembre de 2018 de http://ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=2818839208&umt=carlos_perez_aporte_del_sector_

petrolero_es_del_10_del_pib_al_ecuador

- El Comercio. (2012). Origen de los lubricantes. Recuperado el 09 de noviembre de 2018 de <https://www.elcomercio.com/deportes/carburando/origen-lubricantes.html>
- EP Petroecuador. (2013). El petróleo en el Ecuador. Quito, Ecuador. Recuperado el 13 de noviembre de 2018 de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/EI-Petr%C3%B3leo-en-el-Ecuador-La-Nueva-Era.pdf>
- EPA. (2016). *Used Oil Management Program*. Recuperado el 07 de enero de 2019 de <https://archive.epa.gov/wastes/conservation/materials/usedoil/web/html/index.html>
- Espigares, M., & Perez, J. (2008). *Aguas residuales*. USAL. Recuperado el 03 de febrero de 2019 de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- ETAPA. (2019). Programa de recolección y disposición de aceites usados. Recuperado el 01 de marzo de 2019 de <https://www.etapa.net.ec/Información/Gestión-ambiental/Gestión-de-desechos-y-calidad-ambiental/Programa-de-recolección-y-disposición-de-aceites-usados>
- Expreso. (2017). La ilegalidad enturbia el negocio de lubricantes. Recuperado el 10 de diciembre de 2018 de <https://www.expreso.ec/actualidad/ilegalidad-lubricantes-aceite-usado-mercadonegro-EY1881978>
- FAOLEX. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, No. AM 097-A. Ecuador. Recuperado el 19 de diciembre de 2018 de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- Fomina, M., & Gadd, G. (2014). *Biosorption: current perspectives on concept, definition and application*. *Bioresource Technology*. Recuperado el

10 de diciembre de 2018 de
https://www.researchgate.net/journal/1873-2976_Bioresource_Technology

- García, R., Ríos, E., Martínez, Á., Ramos, F., Cruz, J., & Cuevas, M. (2011). Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Scielo*, 27(1), 34. Recuperado el 07 de octubre de 2018 de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n1/v27n1a3.pdf>
- Guevara, A. (2012). *Análisis de los efectos ambientales, provocados por el manejo de aceites provenientes de las lubricadoras de la ciudad del Puyo, cantón Pastaza*. Recuperado el 07 de octubre de 2018 de <https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/handle/123456789/117>
- Herrejón, M., & León, B. (2008). Cinética e isotermas de adsorción de Pb (II) en suelo de Monterrey. *ResearchGate*, 11(41). Recuperado el 11 de enero de 2019 de http://eprints.uanl.mx/10396/1/41_Cinetica.pdf
- Huang, Z., Wang, N., Zhang, Y., Hu, H., & Luo, Y. (2012). *Effect of mechanical activation pretreatment on the properties of sugarcane bagasse/poly(vinyl chloride) composites*. *ScienceDirect*, 43(1). Recuperado el 14 de octubre de 2018 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X11003228>
- INEC. (2016). Transporte. Recuperado el 19 de noviembre de 2018 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>
- INEC. (2017). Módulo de Información Económica Ambiental en Empresas. Recuperado el 22 de marzo de 2019 de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas_2015/Documento_Tecnico_Metod_Modulo_Ambiental_Empresas_2015.pdf
- INEN. (1998). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras* (Primera ed). Recuperado el 22 de marzo de 2019 de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-ENEN->

2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-
CONSERVACI%C3%93N-DE-MUESTRAS.pdf

- Jiménez, M. (2016). *Evaluación de un filtro artesanal del efluente de una lavadora de autos a base de bagazo de caña de maíz, aserrín, ceniza de carbon vegetal y grava*. Recuperado el 22 de marzo de 2019 <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/24179>
- Lechuga, M. (2005). *Biodegradación y toxicidad de tensioactivos comerciales*. Universidad de Barcelona. Recuperado el 17 de febrero de 2019 de https://www.researchgate.net/publication/46589477_Biodegradacion_y_toxicidad_de_tensioactivos_comerciales
- Leiva, J., Martínez, P., Esperanza, G., Rodríguez, I., & Gordiz, C. (2012). Adsorción de hidrocarburos en columnas rellenas con bagazo: una solución sostenible. *Redalyc*, 46(3). Recuperado el 06 de octubre de 2018 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223124988005>
- López, M. (2014). *Desarrollo sustentable en la utilización del bagazo de la caña de azúcar como material adsorbente para minimizar el impacto de la contaminación marina por derrame de hidrocarburos*. Recuperado el 06 de octubre de 2018 de https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/16404/1/libro_resumenes_coloquio_2012_FINAL2%2013.pdf.
- Martínez, F. (2008). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional*. UCLM. Recuperado el 22 de febrero de 2019 de <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251>
Tratamiento de aguas residuales industriales.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martinez, P., Rodriguez, I., Esperanza, G., & Leiva, J. (2013). Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos. Recuperado el 22 de febrero de 2019 de <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/276504/364436>
- Memon, F., & Memon, S. (2015). *Sorption and desorption of basic dyes from*

industrial wastewater using calix arene based impregnated material. Taylor & Francis, 50(8). Recuperado el 28 de febrero de 2019 de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01496395.2014.965831>

- Mena, M. (2009). *Estándares de gestión medio ambiental en talleres de mecánica automotriz*. Recuperado el 28 de febrero de 2019 de <https://es.scribd.com/document/364569279/ESTANDARES-DE-GESTION-MEDIO-AMBIENTAL-EN-TALLERES-DE-MECANICA-AUTOMOTRIZ-docx>
- Mendizabal, F. (2005). *Abejas*. (Albatros, Ed.). Buenos Aires.
- Mont, J. (2006). *Recuperación o reciclado de aceites usados de motor*. Recuperado el 28 de febrero de 2019 de <https://www.scribd.com/document/28104118/261972-Recuperacion-o-Reciclado-de-Aceites-Usados-de-Motor>
- Neri, F., Sandoval, R., Arias, E., Salinas, J., Delgado, D., López, A., & Collins, V. (2010). *Pirólisis a baja temperatura del bagazo de caña de azúcar para la producción de combustibles líquidos*. CIMAV. Recuperado el 11 de noviembre de 2018 de https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1291/1/XSMH156PIROLISIS_A_BAJA_TEMPERATURA_DEL_BAGAZO_DE_CAHÑA_DE_AZÚCAR_PARA_LA_PRODUCCIÓN_DE_COMBUSTIBLES_LIQUIDOS.pdf
- Ngabe, B., Scott, G., & Bidleman, T. (2000). *Polycyclic aromatic hydrocarbons in storm runoff from urban and coastal South Carolina*. *ScienceDirect, 225(1–3)*. Recuperado el 10 de febrero de 2019 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969700004228>
- OAS. (2008). *Constitución del Ecuador*. Montecristi, Ecuador. Recuperado el 05 de enero de 2019 de https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf
- Oliva, D., & Antolín, G. (2004). *Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado*. *ResearchGate, 1*. Recuperado

el 27 de diciembre de 2018 de https://www.researchgate.net/publication/273824655_Aproximacion_experimental_a_la_combustion_del_bagazo_de_cana_en_lecho_fluidizado

OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Recuperado el 27 de diciembre de 2018 de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/

OMS. (2010). Benceno. Recuperado el 16 de enero de 2019 de https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/benzene/es/

ONU. (2014). Calidad del agua. Recuperado el 13 de octubre de 2018 de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Penedo, M., Michel, E., Vendrell, F., & Salas, D. (2015). *Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco*. *Scielo*, 35(1). Recuperado el 22 de marzo de 2019 de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852015000100010&script=sci_arttext&tlng=en

Peraza, R., & Delgado, V. (2012). Determinación de la concentración letal media (CL50) de cuatro detergentes domésticos biodegradables en *Laeonereis culveri*. *Scielo*, 28(2). Recuperado el 04 de marzo de 2019 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000200004

Poyer, F., Danglad, J., & Salazar, V. (2015). Adsorción de hidrocarburos de petróleo en agua mediante una columna empacada con bagazo de caña de azúcar. *Scielo*, 27(3). Recuperado el 14 de octubre de 2018 de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622015000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Pozo, C. (2011). *Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en la fabricación de bloques ecológicos para mampostería liviana*. ESPOCH. Recuperado el 14 de octubre de 2018 de ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles08Art3.pdf

Revista Lideres. (2018, mayo 29). 7 de cada 10 vehículos vendidos en el 2018

- son importados. Recuperado el 10 de noviembre de 2018 de <https://www.revistalideres.ec/lideres/vehiculos-importacion-ecuador-china-ensambladoras.html>
- Roca, G., Glauco, C., Olivares, E., & Barbosa, L. (2006). Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: características físicas. *Scielo*. Recuperado el 01 de noviembre de 2018 de <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v1/036.pdf>
- Rocha, G., Gonçalves, A., Oliveira, B., Olivares, E., & Rossella, C. (2012). *Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification reactions performed on a pilot scale with sugarcane bagasse for bioethanol production*. *ScienceDirect*, 35(1). Recuperado el 07 de febrero de 2019 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669011003062>
- Rodríguez, P., Giraldo, L., & Moreno, J. (2011). *Oxidación de la superficie de carbón activado mediante hno3 y h2o2: efecto sobre la remoción de níquel (ii) en solución acuosa*. Recuperado el 07 de febrero de 2019 de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/29429/30043>
- Rodríguez, R., Linares, R., & Guadalupe, E. (2009). Adsorción y desorción de cromo hexavalente en relaves mineros. *ResearchGate*, 12(24). Recuperado el 13 de noviembre de 2018 de https://www.researchgate.net/publication/263703699_Adsorcion_y_desorcion_de_cromo_hexavalente_en_relaves_mineros
- San Sebastián, M., Armstrong, B., & Stephens, C. (2001). La salud de mujeres que viven cerca de pozos y estaciones de petróleo en la Amazonía ecuatoriana. *Scielo*. Recuperado el 09 de diciembre de 2018 de https://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S1020-49892001000600004&script=sci_arttext
- SEMARNAT. (2005). *Manifestación de impacto ambiental "Tratamiento y reciclaje de aceites y lubricantes usados"*. Recuperado el 02 de


- enero de 2019 de
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/mex/estudios/2005/15EM2005I0014.pdf>
- Serrano, A. (2018). *Combustión de combustibles líquidos con captura de CO2 mediante transportadores solidos de oxígeno*. CSIC. Recuperado el 22 de febrero de 2019 de [http://digital.csic.es/bitstream/10261/173290/1/181212Tesis_Anabel_Serrano_con portada.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/173290/1/181212Tesis_Anabel_Serrano_con_portada.pdf)
- Sharma, P., Kaur, H., Sharma, M., & Sahore, V. (2011). *A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste*. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-1914-0>
- Sirotkina, E., & Novoselova, L. (2005). *Materials for Adsorption Purification of Water from Petroleum and Oil Products*. SIBRAN. Recuperado el 22 de octubre de 2019 de <http://www.sibran.ru/upload/iblock/7f1/7f1bf8c1d3689a4ea21cb7cb5e2865d2.pdf>
- Sivara, R., Namasivayam, C., & Kadirvelu, K. (2001). *Orange peel as an adsorbent in the removal of acid violet 17 (acid dye) from aqueous solutions*. *NCBI*, 21(1). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00076-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00076-3)
- Tao, J., & Rappe, A. (2014). *Physical Adsorption: Theory of van der Waals Interactions between particles and clean surfaces*. *ResearchGate*. Recuperado el 03 de marzo de 2019 de https://www.researchgate.net/publication/261218157_Physical_Adsorption_Theory_of_van_der_Waals_Interactions_between_Particles_and_Clean_Surfaces
- The Global Economy. (2016). Ecuador: Consumo de gasolina. Recuperado el 25 de febrero de 2019 de https://es.theglobaleconomy.com/Ecuador/gasoline_consumption/
- UASB. (2009). *Diagnóstico del Sector Automotriz*. Quito. Recuperado el 22 de noviembre de 2019 de

<http://www.uasb.edu.ec/UserFiles/381/File/AUTOMOTRIZ.pdf>

- UNESCO. (2017). Aguas residuales, el recurso desaprovechado, 6. Recuperado el 22 de noviembre de 2019 de <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/aguas-residuales-el-recurso-desaprovechado>.
- USON. (2004). *Combustibles*. Recuperado el 10 de enero de 2019 de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4324/Capitulo2.pdf>
- Vale, R., Pérez, R., & Ramírez, M. (2016). Valoración del impacto ambiental en una productora de aceites y grasas lubricantes. *Scielo*, 28(2). Recuperado el 16 de enero de 2019 de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212016000200014
- Valladares, M. G., Valerio, C., de la Cruz, P., & Melgoza, R. (2016). Adsorbentes no convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Scielo*, 16(31). Recuperado el 17 de noviembre de 2019 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v16n31/1692-3324-rium-16-31-00055.pdf>
- Vargas, P., Zaragoza, J., Muñoz, J. de J., Sánchez, P., Tijerina, L., López, R., ... Ojodeagua, J. (2008). Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajauto, México. *Scielo*, 34(3). Recuperado el 11 de noviembre de 2018 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000300007
- Waldhoff, H., & Spilker, R. (2004). *Handbook Of Detergents, Part C: Analysis*. (CRC Press, Ed.). New York: Taylor & Francis Group.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de la concentración inicial de aceites lubricantes presentes en el agua residual por parte del laboratorio CENTROCESAL.



**CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES
CENTROCESAL Cia. Ltda.**

AREA QUIMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 29376-01-18-02-19-Q

Cliente:	SEGOVIA CARRERA JENIFER ESTEFANIA		
Representante:	Jennifer Segovia		
Dirección:	El Batán		
Teléfono:	0995677439		
Identificación de la Muestra:	AGUA LUBRICADORA		
Descripción de la Muestra:	Líquido turbio color rojo oscuro con sedimento		
Contenido declarado:	355ml		
No. Lote o código	ND		
Fecha de elaboración:	ND		
Fecha de caducidad:	ND		
Conservación de la Muestra:	Ambiente		
Muestreo:	Por el cliente	Fecha de toma de muestra:	ND
		Fecha de recepción:	18-feb-2019
		Fecha de ensayo:	22-feb-2019
		Fecha de reporte:	25-feb-2019


Resultados analíticos: Pag.: 1 de 1

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	**ESPECIFICACIÓN
Aceites y grasas	POE 5.4.50 EPA 1664A	mg/L	3570.00	<100 mg/L

POE: Procedimiento Interno
EPA Agencia de Protección de Estados Unidos (Método de Referencial)

** Especificación, tomada de TULSMA Libro VI, Tabla 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

CENTROCESAL Cia. Ltda.
Leda. Hogue Wakao
RESPONSABLE DE ANALISIS



Q.F Andrea Cumba A.
CENTROCESAL Cia. Ltda.
Andrea Cumba
RESPONSABLE DE SUPERVISION

Notas:
 ND: No declara
 NA: No aplica

NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
 NOTA 2: Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.
 NOTA 3: Muestras recibidas en el Laboratorio, CENTROCESAL Cia. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis.
 NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
 NOTA 5: Las opiniones/interpretaciones/etc., que se puedan indicar, están FUERA del alcance de acreditación del SAI.
 NOTA 6: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio, corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 30 días contados desde que se entrega el resultado.

Incl. POE 5.10.1 Rev. 10 Anexo 1

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América N21-232 y Av. Mariana de Jesús
 Telfs: (093 2) 2230342 / 2233792
 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872
 e-mail: info@centrocesal.com
 www.centrocesal.com
 QUITO - ECUADOR

Anexo 2. Boletín técnico del surfactante no iónico usado en la experimentación.



Planta y Oficinas
Av. Tnte Hugo Ortiz 516-85 y Balzar
Quito - Ecuador
Teléfonos | 5932 | 2689416, 2674600

BOLETÍN TÉCNICO

VISCAMID 95
Dietanolamida de coco

Versión: BT-V95/03
Fecha de actualización: Jul 2017

1. DESCRIPCIÓN

El VISCAMID 95 es una dietanolamida de ácidos grasos de coco. Se lo utiliza como eficaz agente espesante, estabilizador de espuma y agente emulsionante y co-disolvente.

Distribución de los ácidos grasos:
Láurico: 44 - 51 %
Mirístico: 15 - 19 %
Palmítico: 7 - 11 %
Estearico + oleico: 6 - 11 %

2. ÁREAS DE APLICACIÓN

Formulación de detergentes líquidos, shampoos y otros productos cosméticos.

3. BENEFICIOS

- Tiene propiedades acondicionadoras y suavizantes para la piel.
- Se disuelve en agua produciendo un coloide de aspecto jabonoso, que tiene de por sí efecto detergente.
- Asociado a otros componentes iónicos o no iónicos puede producir soluciones perfectamente transparentes o turbias, según se desee.

4. DOSIFICACIÓN Y MODO DE USO

Como agente espesante se lo utiliza en concentraciones de 1 al 6%, sin que se requiera sal adicional. La presencia de alcoholes u otros solventes pueden bajar la viscosidad de la formulación.

Para su aplicación el producto debe ser incorporado a la mezcla en la concentración requerida con agitación hasta conseguir una mezcla cristalina y viscosa.

5. ESPECIFICACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

Parámetro	Valor aceptable
Apariencia	Líquido viscoso cristalino o pasta blanda de color amarillo a ámbar
Color Gardner	3 máx.
Olor	Característico a palmiste
Densidad	0.96 - 1 g/cm ³
pH (Soluc. 1% en H ₂ O)	9.0 - 11.0
Amina libre, como DEA	5 % máx.
Amida	90% mín.
Nitrosamina	<50 µg/Kg
Dioxanos	<15 mg/Kg

6. BIODEGRADABILIDAD

El VISCAMID 95 es fabricado a partir de materias primas de origen vegetal lo que permite que el producto sea totalmente biodegradable.

7. PELIGROSIDAD

- Mantener alejado de las fuentes de calor, llama o fuente de chispas – No fumar
- Use indumentaria protectora adecuada.
- Evite su liberación al medio ambiente.
- En las plantas de tratamiento el producto puede generar espuma.

Nota: toda la información de seguridad se encuentra en la MSDS-V95.

8. PRESENTACIÓN

Presentación: 20 Kg
Caneca de polietileno de alta densidad

Presentación: 200 Kg
Tambor de polietileno de alta densidad

9. RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

Almacenar los contenedores en lugares ventilados. Mantenga las tapas de los contenedores siempre cerradas.

No almacene con materiales incompatibles.

Temperatura máxima de almacenamiento 45°C.

10. TIEMPO DE VIDA ÚTIL

Si el envase está herméticamente cerrado y se encuentra en un lugar seco y fresco, el producto conserva íntegras sus características originales hasta por 2 años.

Anexo 3. Tanque donde se recolecta el agua residual generados por el establecimiento de lubricadora y lavadora.



Anexo 4. Pruebas de flotabilidad del bagazo de caña de azúcar sin tratamiento, bagazo de caña de azúcar con cera de abeja y bagazo de caña de azúcar con cera de abeja y tratamiento térmico.



Anexo 5. Vista preliminar del bagazo de caña de azúcar a diferentes diámetros (2,18 mm, 1,59 mm y 0,74 mm)



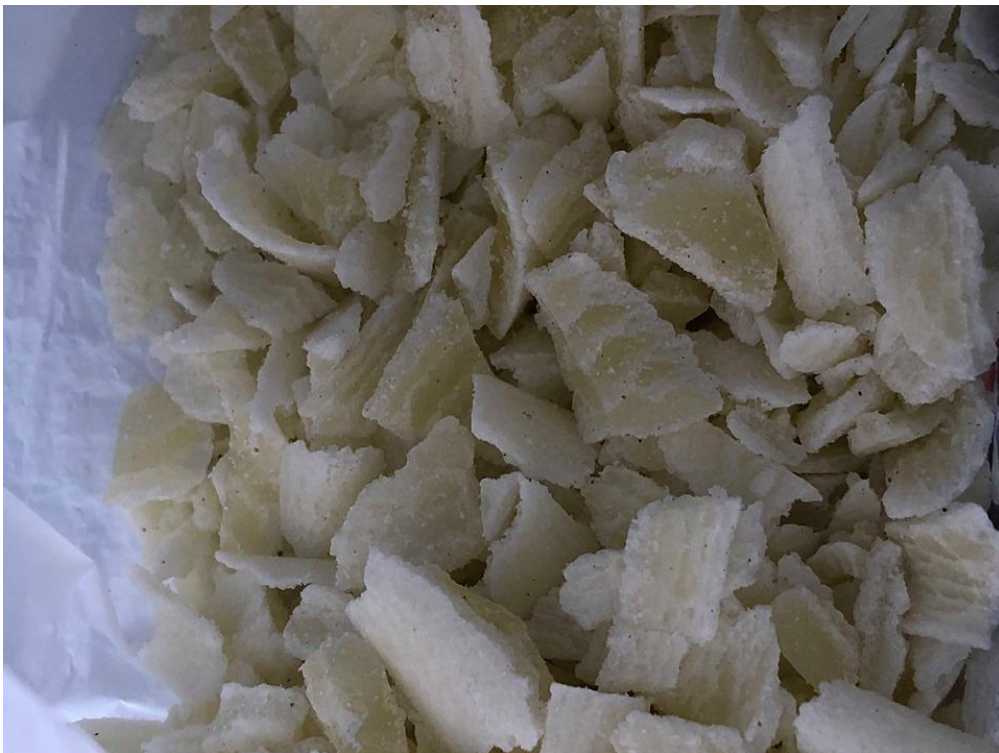
Anexo 6. Lavado del bagazo de caña de azúcar con agua destilada.



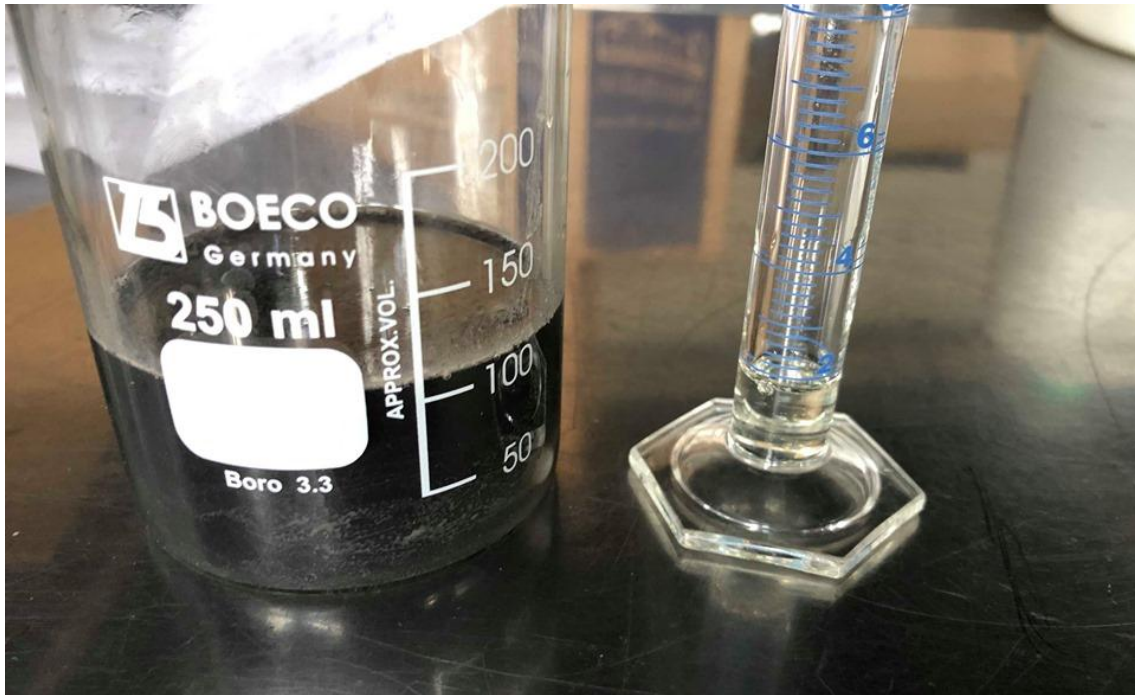
Anexo 7. Bagazo de caña de azúcar tras el tratamiento térmico.



Anexo 8. Cera de abeja previo la aplicación al bagazo de caña de azúcar.



Anexo 9. Muestra de agua residual de lubricadora y lavadora junto al surfactante no iónico de carácter biodegradable.



Anexo 10. Diluciones de las muestras de agua para la obtención de la curva de calibración.



Anexo 11. Agitación de las muestras junto al bioadsorbente en el Test de jarras.



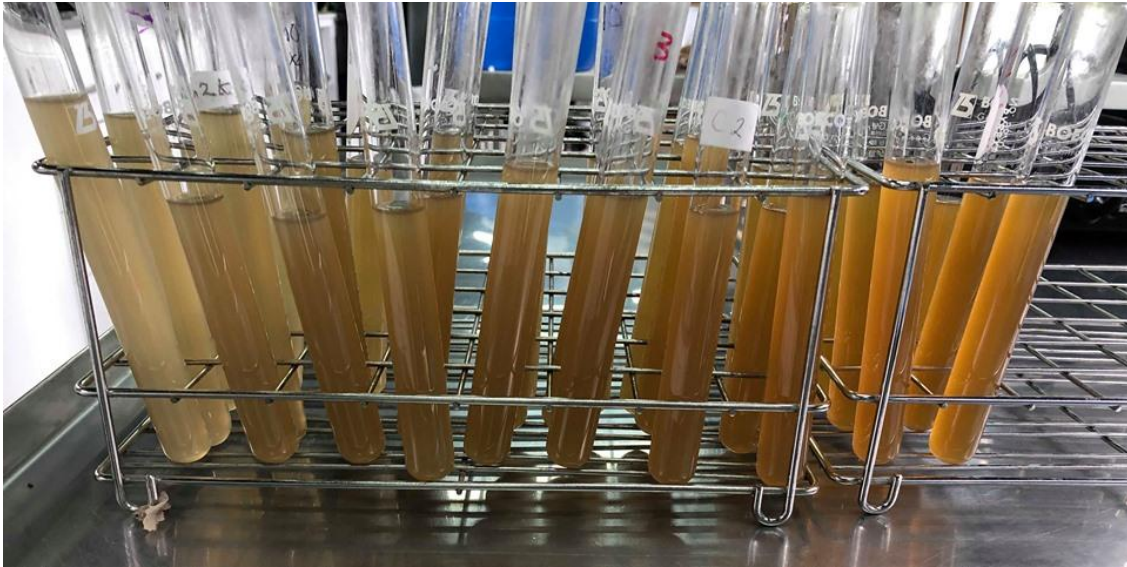
Anexo 12. Muestras de agua residual previo al tratamiento de bioadsorción.



Anexo 13. Muestras de agua residual tras el tratamiento de bioadsorción.



Anexo 14. Muestras de agua residual tras el tratamiento de bioadsorción en tubos de ensayo.



Anexo 15. Ejemplo de cálculo de la cantidad de contaminante retenido en el adsorbente.

Cantidad de adsorbente, M (gr)	Concentración remanente (Concentración de equilibrio), Ceq (mg/L)	Volumen utilizado, Vm (L)
0,00	3570,00	0,150

- Cantidad de contaminante presente en el agua, m (mg)

$$m = C_{eq} \times V_m$$
$$m = 3570,00 \frac{mg}{L} \times 0,150 L$$
$$m = 535,50 mg$$

- Cantidad de contaminante retenido en el adsorbente, x (mg)

$$x = m_1 - m_2$$

$$x = 535,50 \text{ mg} - 535,50 \text{ mg}$$

$$x = 0 \text{ mg}$$

- Cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente, q (mg/g)

$$q = \frac{x}{M}$$

$$q = \frac{0}{0}$$

$$q = -$$

Cantidad de adsorbente, M (gr)	Concentración remanente (Concentración de equilibrio), C_{eq} (mg/L)	Volumen utilizado, V_m (L)
0,50	2281,80	0,150

- Cantidad de contaminante presente en el agua, m (mg)

$$m = C_{eq} \times V_m$$

$$m = 2281,80 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,150 \text{ L}$$

$$m = 342,27 \text{ mg}$$

- Cantidad de contaminante retenido en el adsorbente, x (mg)

$$x = m_1 - m_2$$

$$x = 535,50 \text{ mg} - 342,27 \text{ mg}$$

$$x = 193,23 \text{ mg}$$

- Cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente, q (mg/g)

$$q = \frac{x}{M}$$

$$q = \frac{193,23 \text{ mg}}{0,50 \text{ gr}}$$

$$q = 386,46 \frac{\text{mg}}{\text{gr}}$$

