UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE ACEITE RESIDUAL Y DIÉSEL DE TRES RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA ZONA DE PUCALLPA – UCAYALI, PERÚ.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

WENDY JANETH GRANADOS ORTEGA

PUCALLPA – PERÚ
2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA DE INGENIERIA AMBIENTAL

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 105

En el auditorio central UNU; siendo las 13:30 pm del día 11 de diciembre del 2019, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador designado con Memorando Múltiplo 209-2019-UNU-FCFyA-CGT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga	**Presidente**
Dr. Carlos Panduro Carbajal	**Miembro**
Dr. Grober Panduro Pisco	**Miembro**

Para evaluar la sustentación de la tesis **"DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE ACEITE RESIDUAL Y DIÉSEL DE TRES RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA ZONA DE PUCALLPA – UCAYALI; PERÚ"**, presentado por la Bachiller de Ingeniería Ambiental **WENDY JANETH GRANADOS ORTEGA**, asesorada por el **Ing. M. Sc. TEDY TUESTA TORREJÓN.**

Terminada la sustentación, se procedió a las preguntas, las cuales fueron absueltas de manera satisfactoria por la sustentante, por lo que el Jurado Evaluador lo **APROBÓ** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **EXCELENTE**.

En consecuencia, la sustentante está **EXPEDITA** para obtener el título de **INGENIERO AMBIENTAL.**

Siendo las 15:00 pm del mismo día; se dio por concluido el Acto Académico.

Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga
Presidente

Dr. Carlos Panduro Carbajal
Miembro

Dr. Grober Panduro Pisco
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga

Presidente

Dr. Carlos Panduro Carbajal

Miembro

Dr. Grober Panduro Pisco

Miembro

Ing. M. Sc. Tedy Tuesta Torrejón

Asesor

Bach. Wendy Janeth Granados Ortega

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N°093-2020

La **Dirección General de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis), titulado:

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE ACEITE RESIDUAL Y DIÉSEL DE TRES RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA ZONA DE PUCALLPA – UCAYALI, PERÚ.

Cuyo autor (es)	:	**GRANADOS ORTEGA, WENDY JANETH**
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional	:	INGENIERIA AMBIENTAL
Asesor	:	M.Sc. Tuesta Torrejón, Tedy

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 06%.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 26/02/2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL
Dirección General de Producción Intelectual
JOSE DINA PARIQUISPE
Direc. Gral. Prod. Intel

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, WENDY JANETH GRANADOS ORTEGA

Autor de la TESIS titulada:

"DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE ACEITE RESIDUAL Y DIÉSEL DE TRES RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA ZONA DE PUCALLPA-UCAYALI, PERÚ"

Sustentada el año: 2019

Con la asesoría de: ING. M.SC TEDY TUESTA TORREJON

En la Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Carrera Profesional de: INGENIERÍA AMBIENTAL

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto, me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.

Tercero: Autorizo la publicación,

☒ **Total** (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio)

☐ **Parcial** (significa que solo la caratula, la dedicatoria y el resumen en PDF será compartido en el repositorio)

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 12 / 10 / 2020

Email: wendyjaneth.17@gmail.com

Firma:

Teléfono: 949558698

DNI: 47650202

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y protector en todo momento; por darme salud y bendición para alcanzar mis metas trazadas.

A mis padres Carmen Rosa y Pedro Lucio por su amor, comprensión y apoyo incondicional; mi ejemplo a seguir y de inculcarme buenos valores.

A mi familia Richard Alan por ser mi compañero de vida, y mi hija Brissa Del Carmen quien es mi motivo y por darme la fortaleza e inspiración para continuar adelante

A mis hermanos por su apoyo y cariño incondicionales, por compartir buenos y malos momentos; y a todos mis sobrinos que me alegran la vida.

Wendy Janeth.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali, por haberme brindado la oportunidad de realizarme profesionalmente y a los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.

A mi asesor Ing. M. Sc. Tedy Tuesta Torrejón, por el asesoramiento y apoyo desinteresado a la realización del presente trabajo de investigación.

A mi co asesor Ing. Mijail Elvis Huaracha Vilchez, por su orientación, por su apoyo y aportes no solo como profesional sino como persona y amigo; durante el desarrollo de la investigación.

A los jurados de Tesis Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga, Dr. Carlos Panduro Carbajal y Dr. Grober Panduro Pisco por sus sugerencias, análisis y críticas constructivas a la presente investigación.

A las personas y empresas que me apoyaron como:

- A la Molinera San Andrés o Imperio SAC, del Sr. Lixer Panduro Carbajal, por brindarme la cascarilla de arroz
- Al Aserradero Vásquez SRL, del Sr. Edwin Vásquez, por brindarme el aserrín.
- Al Avícola Abiel Euler, del Sr. Ricardo Chota, por facilitarme la pluma de pollo.
- Al Técnico Gerardo Arimuya por facilitarme el laboratorio y los materiales necesarios para desarrollar la presente investigación, del Laboratorio Química de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali.

Agradezco a mis familiares y a todas las personas que directo o indirectamente me apoyaron.

ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACIÓN ii
ACTA DE APROBACIÓN iii
CONSTANCIA DE ANTIPLAGIO iv
REPOSITORIO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE viii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xiii
RESUMEN xv
ABSTRACT xvi
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 4
1.2.1. Problema General 4
1.2.2. Problemas Específicos 4
1.3. OBJETIVOS 5
1.3.1. Objetivo General 5
1.3.2. Objetivos Específicos 5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO 6
2.1. ANTECEDENTES 6
2.1.1. Internacional 6
2.1.2. Nacional 8
2.2. BASES TEÓRICAS 8
2.2.1. Residuos industriales 8
2.2.1.1. Impactos en el ambiente 9
2.2.1.2. Usos en la protección del ambiente 9
2.2.1.3. Residuos industriales aprovechables 10
2.2.2. los hidrocarburos 15
2.2.2.1 El diésel o gasóleo 16
2.2.2.2. Aceites usados 17

2.2.3. Contaminación por derrames de hidrocarburos 18
2.2.3.1. Impacto de los derrames de hidrocarburos 19
2.2.3.2. Métodos convencionales para tratar derrames de hidrocarburos 22
2.2.4. La adsorción 24
2.2.4.1. Tipos de adsorción 25
2.2.4.2. Uso de adsorbentes para tratar derrames de hidrocarburos 26
2.2.4.3. Tipos de adsorbentes según su naturaleza 27
2.2.4.4. Tipos de adsorbentes según su presentación 29
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 31
CAPITULO III: METODOLOGÍA 33
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 33
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 33
3.3. LUGAR DE ENSAYOS EXPERIMENTALES 33
3.3.1. Ubicación de los puntos de recolección de las muestras 34
3.4. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS 35
3.4.1. Ficha de recolección de datos 35
3.4.2. Materiales y equipos 35
3.5. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 36
3.5.1. En campo 36
3.5.2 En laboratorio 37
3.5.2.1. Acondicionamiento de las muestras (residuos orgánicos) 37
3.5.2.2. Tratamiento térmico de residuos orgánicos 37
3.5.2.3. Clasificación de residuos orgánicos 37
3.5.2.4. Observación de las estructuras de los residuos orgánicos 38
3.5.2.5. Ensayos de la capacidad de adsorción 38
3.6. PROCESAMIENTO DE DATOS 39
3.6.1. Determinación de humedad de los residuos orgánicos 39
3.6.2. Determinación de la gravedad API de aceite residual y diésel 39
3.6.3. Determinación de la capacidad de adsorción 39
3.7. DISEÑO ESTADÍSTICO 39
3.8. TRATAMIENTO DE DATOS 41
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42
4.1. RESULTADOS 42

4.1.1. Capacidad de adsorción de aceite residual 42
4.1.1.1. Influencia del tipo de residuo de aceite residual 44
4.1.1.2. Influencia del tiempo de aceite residual 45
4.1.1.3. Interacción tipo de residuo – tiempo de aceite residual 45
4.1.2. Capacidad de adsorción de diésel 47
4.1.2.1. Influencia del tipo de residuo de diésel 49
4.1.2.2. Influencia del tiempo de diésel 50
4.1.2.3. Interacción tipo de residuo – tiempo de diésel 50
4.1.3. Capacidad de adsorción en adsorbentes convencionales 52
4.1.3.1. Comparación con los adsorbentes convencionales frente al RC, RA y RP 53
4.2. DISCUSIÓN 52
4.2.1. Tipos de residuo RC, RA y RP 56
4.2.2. Tiempo de adsorción en RC, RA y RP 59
4.2.3. Frente a los adsorbentes convencionales 61
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 63
5.1. Conclusiones 63
5.2. Recomendaciones 64
BIBLIOGRAFÍA 65
ANEXOS 75
Anexo 1 - Descripción de los materiales ensayados en la presente Investigación 76
Anexo 2 - Resultados experimentales 77
Anexo 3 - Ficha de recolección de datos 81
Anexo 4 - Resultados de análisis de laboratorio 82
Anexo 5 - Panel fotográfico 87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes principales de la cascarilla de arroz 12

Tabla 2. Tipos de petróleo e hidrocarburos según gravedad °API 16

Tabla 3. Tipos de diésel y consideraciones de uso 17

Tabla 4. Características de los aceites usados 18

Tabla 5. Impactos de los derrames de hidrocarburos en el medio abiótico 20

Tabla 6. Impactos de los derrames de hidrocarburos en el medio biótico 21

Tabla 7. Ejemplos de materiales adsorbentes según su tipo 31

Tabla 8. Coordenadas de los puntos de recolección de la muestra 34

Tabla 9. Diseño experimental de la capacidad de adsorción 40

Tabla 10. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de aceite residual 42

Tabla 11. Análisis de varianza de la capacidad de adsorción de aceite residual para los factores tipo de residuo y tiempo 44

Tabla 12. Test de Tukey para el factor tipo de residuo en la capacidad de adsorción de aceite residual 44

Tabla 13. Test de Tukey para el factor tiempo en la capacidad de adsorción de aceite residual 45

Tabla 14. Test de Tukey para la interacción tipo de residuo - tiempo en la capacidad de adsorción de aceite residual 46

Tabla 15. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de diésel 47

Tabla 16. Análisis de varianza de la capacidad de adsorción de diésel para los factores tipo de residuo y tiempo 49

Tabla 17. Test de Tukey para el factor tipo de residuo en la capacidad de adsorción de diésel 49

Tabla 18. Test de Tukey para el factor tiempo en la capacidad de adsorción de diésel 50

Tabla 19. Test de Tukey para la interacción tipo de residuo - tiempo en la capacidad de adsorción de diésel 51

Tabla 20. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de aceite residual y diésel del adsorbente convencional sintético y orgánico 52
Tabla 21. Resultados óptimos de capacidad de adsorción de aceite residual del RC, RA y RP frente al AC1 y AC2 54
Tabla 22. Resultados óptimos de capacidad de adsorción de diésel del RC, RA y RP frente al AC1 y AC2 55
Tabla 23. Descripción general de los materiales evaluados en la presente Investigación 76
Tabla 24. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de aceite residual del RC, RA y RP 77
Tabla 25. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de diésel del RC, RA y RP 78
Tabla 26. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de aceite residual del AC1 y AC2 79
Tabla 27. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de diésel del AC1 y AC2 80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Residuos de cascarilla de arroz generados en la zona de estudio 11

Figura 2. Generación de restos del aserrado de madera en la ciudad de Pucallpa 13

Figura 3. Estructura convencional de una pluma 14

Figura 4. Contaminación ambiental por derrame de petróleo crudo en la selva norte del Perú 20

Figura 5. Esquema de la adsorción física 25

Figura 6. Barreras adsorbentes improvisadas construidas de paja y redes 28

Figura 7. Aplicación de adsorbentes orgánicos tipo II en derrames de hidrocarburos 30

Figura 8. Ubicación del Laboratorio de Trasformación Química Forestal – UNU 34

Figura 9. Ubicación de los puntos de recolección de la muestra 34

Figura 10. Capacidad de adsorción de aceite residual del RC, RA y RP 43

Figura 11. Gráfico de la interacción entre los factores tipo de residuo – tiempo, en la capacidad de adsorción de aceite residual 46

Figura 12. Capacidad de adsorción de diésel del RC, RA y RP 48

Figura 13. Gráfico de la interacción entre los factores tipo de residuo – tiempo, en la capacidad de adsorción de diésel 51

Figura 14. Capacidad de adsorción de aceite residual y diésel del AC1 y AC2 53

Figura 15. Resultados de capacidad de adsorción del RC, RA y RP frente al AC1 y AC2 de aceite residual 54

Figura 16. Resultados de capacidad de adsorción de diésel del RC, RA y RP frente al AC1 y AC2 55

Figura 17. De izquierda a derecha, tamaños comparados del RC, RA y RP 57

Figura 18. Estructura del RP 58

Figura 19. Ficha de recolección de datos 81

Figura 20. Análisis de humedad de cascarilla de arroz 82
Figura 21. Análisis de humedad de aserrín 83
Figura 22. Análisis de humedad de pluma de pollo 84
Figura 23. Análisis de Gravedad API (°API) del hidrocarburo aceite residual 85
Figura 24. Análisis de Gravedad API (°API) del hidrocarburo diésel 86
Figura 25. Recolección de cascarilla de arroz 87
Figura 26. Recolección de aserrín 87
Figura 27. Recolección de plumas de pollo 87
Figura 28. Secado al sol las muestras 87
Figura 29. Acondicionamiento de las muestras 87
Figura 30. Secado de las muestras 87
Figura 31. Las muestras en bolsa hermética 88
Figura 32. Muestras adsorbentes en primer plano, de izquierda a derecha: RC, RA, RP, AC2 y AC1 88
Figura 33. Observación de las características de las muestras 88
Figura 34. Morfología de cascarilla de arroz 88
Figura 35. Morfología de aserrín 88
Figura 36. Morfología de pluma de pollo 88
Figura 37. Puesta del aceite residual y diésel en la celda de adsorción 89
Figura 38. Puesta de la muestra en la cesta impregnada de aceite residual 89
Figura 39. Puesta de la muestra dentro de la cesta de adsorción de aceite residual 89
Figura 40. Cesta y celda de adsorción en plena adsorción de diésel 89
Figura 41. De izquierda a derecha, cascarilla de arroz después del ensayo de adsorción de aceite residual y diésel 89
Figura 42. De izquierda a derecha, plumas de pollo en plena adsorción de aceite residual y diésel 89

Figura 43. De izquierda a derecha, pluma de pollo, antes y después del ensayo de adsorción de aceite residual 90
Figura 44. Muestras de aserrín después del ensayo de adsorción de diésel 90
Figura 45. Proceso de drenaje de las muestras 90
Figura 46. Proceso de pesaje de muestras 90
Figura 47. Adsorbentes convencionales orgánico y sintético 90
Figura 48. De izquierda a derecha, comparación entre el RA y el AC2 90

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad de adsorción de aceite residual y diésel de tres residuos orgánicos generados en la zona de Pucallpa, como alternativa viable en el aprovechamiento de residuos. El desarrollo experimental se realizó en los ambientes de la Universidad Nacional de Ucayali en las instalaciones del Laboratorio de Transformación Química Forestal, en el Distrito de Callería, Provincia de Coronel Portillo, Departamento de Ucayali; empleando para ello el método canadiense ASTMF-12 en su apartado “Oíl adsorption short test”. Se recolectaron tres tipos de residuos orgánicos (cascarilla de arroz, aserrín y pluma de pollo) de las actividades industriales en la zona de Pucallpa; estos fueron acondicionados y almacenados para su posterior ensayo, así mismo se adquirieron dos adsorbentes convencionales empleados para la comparación. Para determinar la capacidad de adsorción se evaluaron dos factores, tipo de residuo (cascarilla de arroz, aserrín y pluma de pollo) y tiempo de contacto con el aceite residual y diésel (10, 15 y 20 minutos). Los resultados indicaron que cada tipo de residuo presentó diferentes mecanismos de adsorción y tiempo diferentes de saturación. Para el aceite residual la capacidad de adsorción fue de 4,7 g/g para cascarilla de arroz; 9,6 g/g para aserrín y 21,5 g/g para pluma de pollo con tiempo de 20, 15 y 10 minutos; para este mismo compuesto se determinó una capacidad de adsorción de 13,3 g/g para el adsorbente convencional sintético y 9,6 g/g para el adsorbente convencional orgánico, con tiempo de 20 y 10 minutos. Bajo las mismas condiciones experimentales, las capacidades de adsorción de diésel fueron de 3,3 g/g para cascarilla de arroz; 6,7 g/g para aserrín y 14,8 g/g para pluma de pollo, con tiempo de 20, 10 y 15 minutos; para este mismo compuesto se determinó una capacidad de adsorción de 12,2 g/g para el adsorbente convencional sintético y 9,4 g/g para el adsorbente convencional orgánico, con tiempo de 20 y 10 minutos. Se observó que la mayor capacidad de adsorción de aceite residual y diésel se obtuvo con el residuo de pluma de pollo.

Palabras claves: Capacidad de adsorción, adsorbente, tipo de residuo orgánico, aceite residual, diésel.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the adsorption capacity of residual oil and diesel from three organic waste generated in the Pucallpa area, as a viable alternative in the use of waste. The experimental development was carried out in the environments of the National University of Ucayali in the facilities of the Laboratory of Forest Chemical Transformation, in the District of Callería, Province of Coronel Portillo, Department of Ucayali; using the Canadian method ASTMF-12 in its section “Oil adsorption short test”. Three types of organic waste (rice husk, sawdust and chicken feather) were collected from industrial activities in the Pucallpa area; These were conditioned and stored for later testing, and two conventional adsorbents used for comparison were purchased. To determine the adsorption capacity, two factors were evaluated, type of residue (rice husk, sawdust and chicken feather) and contact time with residual oil and diesel (10, 15 and 20 minutes). The results indicated that each type of residue presented different adsorption mechanisms and different saturation time. For the residual oil the adsorption capacity was 4.7 g / g for rice husk; 9.6 g / g for sawdust and 21.5 g / g for chicken feather with a time of 20, 15 and 10 minutes; for this same compound an adsorption capacity of 13.3 g / g for the conventional synthetic adsorbent and 9.6 g / g for the conventional organic adsorbent was determined, with a time of 20 and 10 minutes. Under the same experimental conditions, diesel adsorption capacities were 3.3 g / g for rice husks; 6.7 g / g for sawdust and 14.8 g / g for chicken feather, with time of 20, 10 and 15 minutes; for this same compound an adsorption capacity of 12.2 g / g for the conventional synthetic adsorbent and 9.4 g / g for the conventional organic adsorbent was determined, with a time of 20 and 10 minutes. It was observed that the highest adsorption capacity of residual oil and diesel was obtained with the chicken feather residue.

Keywords: Adsorption capacity, adsorbent, type of organic waste, residual oil, diesel.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la preocupación por la generación de grandes cantidades de residuo ha tomado gran fuerza entre la comunidad científica y sobre todo a escala industrial donde los procesos de transformación generan subproductos de manera acelerada y que pueden ser útiles en otras actividades, impulsando esto al desarrollo de tecnologías orientadas hacia una transformación sustentable de los recursos naturales. Por consiguiente, la reutilización de residuos industriales se enfoca como una estrategia base para el manejo de los mismos, con una diversidad de alternativas, gracias a la composición tan variada que presentan estos residuos o subproductos (Ramírez S., 2012).

En los últimos años existe interés sobre la investigación de materiales orgánicos abundantes y fácilmente disponibles como una forma eficiente y rápida de tratar los derrames de hidrocarburos y otros compuestos oleosos, mediante el fenómeno de adsorción; pues la adsorción es una tecnología de retiro de hidrocarburos preferida debido a su simplicidad y costo de procesamiento relativamente más bajo en comparación con otras tecnologías de retiro de hidrocarburos (Ibrahim et al., 2009); Así mismo Aksu Z. (2005) y Seguí I. (2007) agregan que la adsorción es un fenómeno de captación pasiva de sustancias contaminantes, basado en la propiedad que tienen ciertos tipos de biomasas inactivas o muertas para enlazar y acumular diversos tipos de contaminantes por mecanismos como interacciones electrostáticas, fuerzas físicas, intercambio iónico, etc. Tal es el caso de materiales como las fibras de palma, coco, caña de azúcar, buchón de agua, tallos de flores, cabellos humanos, plumas de pollos, paja, entre otros (Knight et al., 2012).

Algunos de estos materiales pueden encontrarse en forma de residuos orgánicos industriales en las regiones amazónicas, pues muchas empresas de transformación de materia prima realizan sus actividades generando grandes cantidades de biomasa residual durante toda la época del año, por lo cual el estudio para la elaboración de adsorbentes a partir de estos materiales se hace necesario. Además en el Perú y en la región Ucayali, debido al descubrimiento de nuevos yacimientos petrolíferos y gran demanda de combustibles, existe una intensa actividad en el manejo, transporte, comercialización y desechos de diversos tipos de hidrocarburos, coexistiendo estas actividades con el riesgo de

que puedan ocurrir descargas accidentales al medio ambiente con los consecuentes impactos al medio terrestre y acuático en las zonas donde se suceden, derivando en impactos ambientales, sociales y económicos. Sumando a esto tenemos que generalmente para tratar estos accidentes se emplean procesos de remediación costosos, a largo plazo y que emplean una variada gama de productos que están elaborados a partir de sustancias químicas y sintéticas lo cuales por su naturaleza tienen efectos laterales nocivos al medio ambiente, además para su aplicación necesita de personal especializado los cuales generan un costo adicional, pudiendo suplir estas desventajas el uso de adsorbentes naturales de bajo costo, elaborados a partir de los ya mencionados residuos orgánicos industriales, aportando esto un doble beneficio: dar un uso a los residuos orgánicos industriales carentes de valor y disponer de un producto ambientalmente amigable para adsorber hidrocarburos y sus desechos.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La generación de residuos industriales de diversas naturalezas es uno de los problemas más preocupantes de los tiempos actuales debido a que su acumulación en el planeta se hace cada vez menos sostenible y de difícil disposición. Muchos de estos residuos son de origen orgánico y que por esta naturaleza generan problemas adicionales en su transporte y manipulación, como por ejemplo la generación de malos olores y/o la propagación de microorganismos perjudiciales (Escalante et al., 2012).

En la región Ucayali y debido a la abundancia de ciertos recursos naturales, proliferan industrias que trabajan con materiales orgánicos como son la industria molinera de arroz, aserradero, avícola etc. Pues el 77% de la canasta exportadora de Ucayali está integrada por productos forestales, principalmente tablillas y madera aserrada (MINCETUR, 2018). Además, para el mes de junio del presente año en la región Ucayali la producción de arroz se incrementó en (106,1%) y la producción de aves en (7,4%) (INEI, 2019). Traducido esto en la generación de considerables cantidades de residuos orgánicos para estas actividades; las cuales en cantidades significativas son considerados un problema ambiental (Restrepo et al., 2011). Así mismo ya sea por desconocimiento de los métodos apropiados, falta de investigación y poco interés por parte de las empresas en cuanto a realizar un buen manejo de sus residuos; no se realiza un aprovechamiento eficiente careciendo por lo tanto estos residuos de poco valor agregado en el mercado, observándose el arrojo de estos a los ríos, su quema al aire libre o que se encuentren almacenados inapropiadamente ocasionando con ello alteraciones en los diferentes medios abióticos y bióticos e incluso pudiendo llegar a generar pérdidas económicas a las empresas donde se generan.

Escenarios similares motivaron la realización de diferentes investigaciones con la preocupación constante de encontrar los métodos más adecuados para aprovechar estos residuos orgánicos de la manera más eficiente y segura posible; por ejemplo: técnicas de compostaje, su incorporación en la

formulación de alimentos para animales, su uso como materia prima para fabricar biocombustibles, elaboración de briquetas, etc. Siendo de estas técnicas de aprovechamiento, la elaboración de adsorbentes a partir de materiales residuales, un tipo de investigación que ha cobrado gran relevancia en los últimos años en países que sufren, manejan y tratan los problemas de derrames de petróleos y sus derivados como es el caso del Perú. Así mismo la adsorción es una forma innovadora, eficiente y ambientalmente amigable de dar utilidad a los residuos orgánicos, que sin embargo en nuestra zona este tipo de investigaciones es poco estudiado.

Ante este escenario ¿Por qué no investigar a los residuos orgánicos que se generan en la ciudad de Pucallpa como adsorbentes de hidrocarburos? evaluando su rendimiento de acuerdo al tiempo y para cada tipo de residuos, ya que estos factores influyen en la capacidad de adsorción, pues cada material adsorbente tiene un mecanismo singular de adsorción como así tiempo diferentes de saturación, para descubrir con esto una forma de dar utilidad a los residuos generados en nuestra zona de estudio, pues a la larga las actividades de consumo y transformación de los recursos naturales continuará, como así también las actividades de extracción, transformación, transporte, consumo y generación de residuos de hidrocarburos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

- ¿Cuál es la capacidad de adsorción de aceite residual y diésel de tres residuos orgánicos generados en la zona de Pucallpa – Ucayali, Perú?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influye el tipo de residuo en la capacidad de adsorción de aceite residual y diésel?
- ¿Cuál es el tiempo donde los residuos logran su mayor capacidad de adsorción de aceite residual y diésel?
- ¿Cuáles son los mejores resultados de las capacidades de adsorción de los residuos estudiados frente a los adsorbentes convencionales?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la capacidad adsorbente de aceite residual y diésel de tres residuos orgánicos generados en la zona de Pucallpa- Ucayali, Perú.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia del tipo de residuo en la capacidad de adsorción de aceite residual y diésel.
- Determinar el tiempo donde los residuos logran su mayor capacidad de adsorción de aceite residual y diésel.
- Evaluar los mejores resultados de las capacidades de adsorción de los residuos estudiados frente a los adsorbentes convencionales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacional

Investigaciones en diferentes partes del mundo estudiaron materiales residuales sin valor agregado, para encontrar de ellos una ruta de aprovechamiento, siendo el caso menos conocido la aplicación de estos como adsorbentes de hidrocarburos, así tenemos a materiales como: médula de bagazo carbonizado (Hussein, et al. 2008), cáscara de arroz, musgo de turba, paja, heno, aserrín, tierra, mazorcas de maíz, plumas y otros productos a base de carbono fácilmente disponible (Nomack y Cleveland, 2010), los cuales resultaron ser materiales atractivos por el bajo costo que presentan, ser de naturaleza biodegradable y los resultados eficientes que presentaron como adsorbentes de diferentes tipos de hidrocarburos.

Ismail S. (2015) investigó en el Instituto Egipcio de Investigación del Petróleo la eficiencia del uso de aserrín crudo y aserrín esterificado con ácido oleico como adsorbentes naturales para la limpieza de derrames de petróleo. Este autor determino que estos residuos presentaron una capacidad de adsorción de 3,1 g/g para el aserrín sin tratar y 4,1 g/g para el aserrín esterificado, concluye con sus resultados que varios parámetros como la capacidad de adsorción, la modificación de la superficie, el tamaño del adsorbente y el tiempo de adsorción son factores importantes a estudiar pues influyen en la capacidad de adsorción de petróleo.

Así mismo Tabugbo et al. (2014) en su trabajo denominado “preparación y caracterización del aserrín (celulosa) como adsorbente para la remediación de la contaminación por petróleo crudo”, investigaron la capacidad de dos aserrines, de madera caoba y madera abeto, empleando tres tamaños de aserrín para cada muestra (0.25 mm, 0.5 mm y > 0.63 mm) y cinco tiempos de adsorción (30, 60, 90, 120 and 150 minutos) con diferentes concentraciones de adsorbato. Estos autores determinaron la capacidad de adsorción más optimas de los materiales que estudiaron con una eficiencia del 62% para el aserrín obtenido a partir de la madera de caoba y 71% para el aserrín obtenido de la madera de abeto. Así

mismo recomienda que se realicen más investigaciones sobre el uso de aserrín de madera de abeto y tratamientos adicionales a este para aumentar su potencial adsorbente en la remediación de petróleo crudo.

Por otra parte, Amico S. (2010) examinó diferentes fibras vegetales para la adsorción de aceite, de entre los cuales destaco el hilo de seda, así mismo con sus resultados este autor menciona que la capacidad de adsorción depende del tiempo. Descubrió que, independientemente de las condiciones que después de 24 horas de adsorción de aceite, el hilo de seda absorbía 85 g/g; atribuyendo estos resultados a la alta hidrofobicidad, flotabilidad y baja adsorción de agua que presentó este material.

Además, Abdullah et al., (2010) determinaron la capacidad de adsorción de aceite diésel, aceite de motor nuevo y aceite de motor usado empleando materiales recogidos del taller local de automóviles, obtuvieron en sus resultados que el adsorbente que evaluaron (fibra kapok) presento capacidades de adsorción máximas de 36,7 g/g; 50,8 g/g y 47,7 g/g para diésel, aceite usado y aceite nuevo respectivamente. Concluyen estos autores que las fibras vegetales son buenos adsorbentes de hidrocarburos pues con sus resultados demostró que el kapok de Malasia ofrece un gran potencial como un adsorbente de diferentes tipos de hidrocarburos debido a su alta capacidad de adsorción y retención, estabilidad estructural y alta reutilización.

Cárdenas M. (2017) evaluó la capacidad de adsorción de aceite de motor nuevo y diésel, de la cáscara de cacao, cáscara de banano y cascarilla de arroz tratados en medio ácido y con un tiempo de 30 minutos. Este autor obtuvo resultados óptimos para la cascara de cacao con 1,4 g/g y 0,7 g/g; la cascara de banano con 2,1 g/g y 1,5 g/g y finalmente la cascarilla de arroz con 4,7 g/g y 1,4 g/g, en secuencia: aceite de motor nuevo y diésel respectivamente. A pesar de estos bajos resultados este autor menciona que su estudio presentó resultados positivos para ser aplicado en el campo de adsorbentes y recomendó realizar nuevos métodos y tratamiento de funcionalización de estos residuos para mejorar las propiedades hidrofóbicas y oleofílicas de los materiales y así aumentar su capacidad de adsorción.

Kelle H. y Eboauto A. (2018) en su estudio para determinar la viabilidad de la pluma de pollo como adsorbentes de limpieza de derrames petróleo crudo e hidrocarburos empleo tiempo de ensayo de 10 – 100 minutos y plumas molidas para este fin, determinando los siguientes resultados para este biomaterial: 13.10 ± 0.67 g/g de petróleo crudo con 60 minutos de ensayo; 11,15 ± 0,84 g/g de diésel con 50 minutos y 9,70 g/g ± 0,91 de querosene con 60 minutos, resultados superiores frente al adsorbente estándar con 11,50 ± 0,54 g/g de petróleo crudo en 40 minutos, 10.35 ± 0.77g/g de diésel en 60 minutos y 8.20 ± 0.93g/g de querosene en 40 minutos. Estos autores concluyen que ambos materiales pueden aplicarse en terrenos y ambientes acuosos en la limpieza de derrames de petróleo e hidrocarburos además de que la pluma de pollo es un adsorbente eficaz y viable para la limpieza de derrames de hidrocarburos.

2.1.2. Nacional

Abanto y Taboada (2018) investigaron el uso y aprovechamiento de la fibra de coco con longitudes de entre 02 a 03 cm de largo, para la adsorción de diferentes muestras de hidrocarburos (kerosene, diésel B5 y gasolina de 84 octanos). Con sus experimentos estos autores determinaron eficiencias de adsorción de 93.9%, 98.8% y 85.9 % para el kerosene, diésel y gasolina respectivamente, demostrando con esto que las fibras de coco tienen una gran afinidad por los hidrocarburos ensayados recomendando además estudiar otros adsorbentes naturales como bagazo de caña, plumas de aves de corral, y otros.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Residuos industriales

Saval S. (2012) define a los residuos industriales como materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social. Las características y/o composición química y biológica de los residuos industriales dependen del proceso de transformación y de la materia prima utilizada. Sin embargo, los residuos orgánicos generalmente son materiales

lignocelulósicos, es decir que los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina representan los mayores porcentajes de composición de estos residuos (Saval S., 2012; Alonso et al., 2012).

Los altos costos de disposición de los residuos permiten que estos se transformen en un problema no sólo ambiental sino económico (Yepes et al., 2008). Por lo cual, el aprovechamiento se convierte en una estrategia de manejo ambiental y económicamente adecuada de residuos generados en cualquier proceso productivo, al momento de seleccionar la alternativa más apropiada para el aprovechamiento y posterior tratamiento de un residuo en específico, es necesario conocer la composición, calidad de sus componentes, la cantidad que se genera y tener en cuenta que de este proceso se produce un siguiente residuo más agotado que puede tener otra aplicación o convertirse en un desecho (Saval S., 2012).

2.2.1.1. Impactos en el ambiente

La presencia de residuos industriales genera impactos negativos y positivos en el ambiente, pues todo proceso productivo desarrollado sin importar la escala, genera residuos a diferentes niveles de acuerdo al proceso que se esté realizando; cuando estos residuos no son debidamente dispuestos y/o no presentan un manejo adecuado provocan alteraciones adversas en el ambiente que son perjudiciales y afectan negativamente el desarrollo de los seres vivos. Sin embargo, los residuos industriales aprovechados correctamente previenen la contaminación de diversos ecosistemas y podrían recuperan las condiciones del ambiente alteradas por las diversas actividades humanas, mejorando la calidad del mismo y evitando afectaciones para la salud humana (Gómez et al. 2016; Barragán et al. 2008).

2.2.1.2. Usos en la protección del ambiente

Los residuos industriales orgánicos presentan una alta posibilidad de ser aprovechados generando beneficios para el ambiente y la sociedad, al reciclarse y utilizarse para prevenir la contaminación o recuperar ecosistemas alterados. Las diversidades de residuos pueden ser utilizados principalmente como alternativa para la producción de compost (Hernández et al., 2016) y bioenergéticas (Muñoz et al., 2013). Sin embargo, en un nivel menor está el

aprovechamiento de estos en la producción de alimentos para animales (Saval S., 2012), fabricación de ladrillos o bloques y otros productos de interés con un valor agregado. Así mismo los residuos industriales, son utilizados como una solución de problemáticas ambientales, como la contaminación del suelo y de fuentes hídricas por el vertimiento de hidrocarburos y efluentes textiles contaminados con metales pesados, compuestos que son en común difíciles de degradar (Vargas et al., 2013).

2.2.1.3. Residuos industriales aprovechables

Cada subsector de la industria genera residuos específicos los que en su mayoría presentan características óptimas para ser aprovechados en la producción de un nuevo producto o como alternativa de tratamiento o recuperación de algún medio contaminado. Los residuos industriales orgánicos más utilizados para estos fines, según recientes investigaciones, son los provenientes de las frutas (Murillo et al., 2010), el bagazo de agave el cual es un residuo de la producción de tequila (Alonso et al., 2012), la cachaza, bagazo, carbonilla, paja y cogollo que son residuos de la agroindustria de la caña de azúcar y de la caldera de las fábricas de ingenios azucareros. La cascarilla de arroz, desechos cítricos, cáscara del plátano, zuro de maíz, la zoca de café, pastas proteicas, lodos, suero, salvado, mostos residuales, vinaza, residuos de material verde entre otros.

Las características y/o composición química y biológica de los residuos industriales orgánicos; dependen del proceso de transformación y de la materia prima utilizada, sin embargo, los residuos industriales orgánicos son materiales lignocelulósicos, es decir que los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina representan los mayores porcentajes de composición de estos residuos (Saval S., 2012; Alonso et al., 2012). A nivel local alguno de los residuos con potencial aprovechable es:

a. La cascarilla de arroz

Se conoce como cascarilla de arroz a la corteza dura que recubre el grano de arroz. Según Souza F. (1993) es un residuo de la industria procesadora de arroz que se encuentra disponible en grandes cantidades en las regiones de la Amazonía peruana. Se caracteriza por presentar una baja densidad y peso específico, además de una lenta biodegradación. La cáscara de arroz constituye

aproximadamente el 25% del volumen de arroz. Pues por término medio, por cada tonelada de arroz se generan 200 kg de corteza o cascarilla (Chur P., 2010). Además, la cascarilla de arroz generalmente tiene aplicaciones reducidas (limpieza de los campos, combustión a campo, disposición del material en rellenos); por ello, ha sido considerada por largo tiempo un residuo, principalmente por su inhabilidad para ser comestible.

El peso y volumen de la cáscara de arroz ocasionan elevados costos de almacenamiento y transporte para la industria, además por ser poco digestible por lo que su uso en la elaboración de alimentos concentrados para animales es restringido. El contenido de humedad de la cascarilla de arroz cuando sale del descascarador varía entre 5 y 40%, luego de estar expuesta a la intemperie, en época no lluviosa, la humedad promedio de la cascarilla esta aproximadamente entre el 8 y 15% (Valverde et al., 2007).

Así mismo en la actualidad la cascarilla de arroz representa un desecho que viene originando problemas ambientales y conflictos sociales con la población perjudicada por la quema o deposito inapropiado, además que viene contaminando el medio ambiente y contribuyendo al calentamiento global del planeta, similar situación ocurre con la pajilla de arroz producida en los campos arroceros donde al final de cada campaña, al productor arrocero no le queda más remedio que incinerarla a cielo abierto, es por ello que la disposición final de estos desechos viene siendo un problema ambiental grave que aún no se ha podido resolver en la región (Tello F., 2009).



Figura 1. *Residuos de cascarilla de arroz generados en la zona de estudio.*

a.1. Composición

La cascarilla presenta un color amarillento, su longitud se encuentra en 8 a 10 mm y entre 1 a 2 mm de ancho y dependiendo de su tamaño el peso de una cascarilla oscila entre 2.5 y 4.8mg (Guevara M., 1995). Así mismo se compone principalmente de celulosa lignina proteínas extractos no nitrogenados, humedad y otros los cuales se explican más detalladamente en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Componentes principales de la cascarilla de arroz*

Componentes	**Valor**
Cenizas crudas	13,2 - 21,0
Sílice	18,5 - 22,3
Calcio	0,6 - 1,3
Lignina	9 - 20
Celulosa	28 - 36
Pentosas	21 - 22
Hemicelulosa	12

Fuente*:* Vargas et al. (2013)

b. El aserrín

El aserrín es un subproducto de la madera que resulta de cortar, moler, perforar, lijar y cortar madera con una sierra u otras herramientas. En muchas partes del mundo estos subproductos son arrojados (Tabugbo et al., 2014) o se almacenan en grandes cerros, se queman en calderas sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor. Por lo que se convierte en una severa fuente de contaminación que afecta tanto a las corrientes de aguas superficiales como a los asentamientos poblaciones ubicados en el entorno de los aserraderos. Sin embargo, este mal llamado “residuo” constituye una apreciada fuente de materia prima para países desarrollados, reportándose más de 12 productos elaborados a partir del mismo (Concepción et al., 2016).



Figura 2. *Generación de restos del aserrado de madera en la ciudad de Pucallpa.*

b.1. Composición

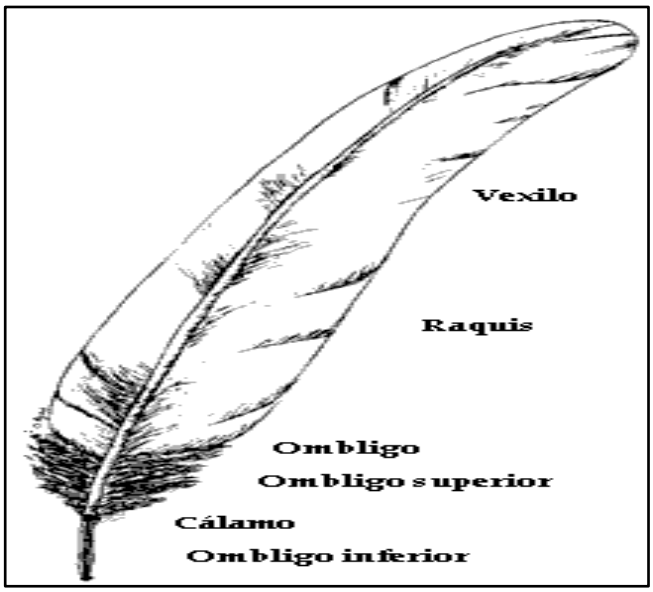
Generalmente el aserrín posee tres componentes principales: la lignina, celulosa y la hemicelulosa. La lignina, que se produce naturalmente en las capas de recubrimiento de celulosa y hemicelulosa, capas de xilema y paredes de fibra de la célula; es el componente más recalcitrante y por lo tanto protege a los componentes menos recalcitrantes de polisacáridos contra el ataque microbiano. La lignina es un polímero complejo sobre la base de propano fenilo, un "monómero" con aromáticos (fenil) y residuos de hidrocarburos alifáticos (Ali et al., 2011).

Una de las principales ventajas que presenta este material es su bajo costo, ya que requiere un procesamiento mínimo y es abundante como residuo de la industria forestal (Taty et al., 2003). Así mismo según las propiedades fisicoquímicas del aserrín crudo, la molécula de celulosa tiene sitios hidrofílicos e hidrofóbicas en los que puede atraer varios materiales orgánicos e inorgánicos Ismail S. (2015).

c. Las plumas de pollo

Las plumas son estructuras dérmicas de las aves cuya función principal es la de regular la temperatura (Aguayo et al., 2011). Estos se componen de varios elementos, la pluma. La parte inferior del raquis que es más ancha y hueca se conoce como cañón o cálamo y sirve como unión entre la pluma y la piel; el hueco inferior del raquis denominado ombligo inferior sirve para alimentar a la

pluma con las sustancias necesarias para su crecimiento y el ombligo superior es el inicio del cuerpo laminar de la pluma; A lo largo del raquis crece de ambos lados el vexilo, estructura que consiste en una estructura laminar compuesta por una red de barbas perpendiculares al raquis de las que se originan bárbulas que se unen entre sí por medio de ganchillos formando una red entretejida. Es precisamente esta complicada estructura queratinosa la que les confiere a las plumas sus propiedades de alta resistencia mecánica y área superficial (ILCE, 2012).



***Fuente**:* ILCE (2012)
***Figura 3.** Estructura convencional de una pluma*

c.1. Composición

Machuca L. (2015) señala que las plumas están formadas mayoritariamente (más del 83%), por: una proteína azufrada, fibrosa y con estructura secundaria en forma de lámina plegada llamada: beta queratina, también presente en el pico, las garras las uñas. Dicha proteína es insoluble en agua y rica en los aminoácidos como la cisteína, metionina, glicocola, serina y alanina, así como diferentes sales minerales (fosfatos y carbonato cálcico principalmente) y pigmentos (lipocromos, melaninas, etc.)

Investigaciones recientes han encontrado las queratinas tienen diversas aplicaciones en la fabricación de nuevos materiales como películas delgadas para empaques. Además, se usan como refuerzo de materiales como acrílico y polietileno para mejorar sus propiedades mecánicas (Ossa-H et al., 2007). Las

fibras de queratina también son útiles para aumentar el área superficial de los filtros de aire, mejorar el aislamiento térmico, fabricar materiales compuestos menos densos que los polímeros originales y aumentar la biodegradabilidad de dichos polímeros (Schmidt W. y Barone J., 2004).

2.2.2. Los hidrocarburos

Los hidrocarburos son sustancias que comprenden un gran número de compuestos que por definición se encuentran en el combustible crudo, así como en otras fuentes combustibles como gas natural, carbón y turba (Martín et al., 2004). En general, se refieren a una mezcla compleja formada por gases, líquidos y sólidos que contienen trazas de mezclas de nitrógeno, oxígeno y azufre en mayor proporción y en menor proporción están el hierro, níquel, vanadio y otros metales (Bustamante A., 2007). Existen tres grupos principales de hidrocarburos: hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos alicíclicos e hidrocarburos aromáticos (Rivera M., 2008). Los hidrocarburos alifáticos también llamados de cadena abierta o acíclicos, comprenden a los alcanos (parafinas) y alquenos (olefinas) lineales de cadena abierta tales como pentano, buteno, entre otros. Las parafinas son uno de los principales constituyentes del crudo y se encuentran en los diferentes productos refinados del petróleo como gasolina, queroseno, diésel, aceites combustibles, entre otros. Hay tres tipos de parafinas: alcanos lineales, alcanos ramificados y naftenos. En este último caso, los átomos de carbono están dispuestos en uno o más anillos (Bustamante A., 2007).

El petróleo crudo y los hidrocarburos se miden en su mayoría por su gravedad API siendo esta una escala arbitraria de valores, para indicar la gravedad específica de crudos, hidrocarburos y derivados líquido, únicamente relacionada con ella por medio de una formula experimental, cuyos parámetros han sufrido pequeños cambios con el correr del tiempo (Benjumea N., 2017). La mayoría de los hidrocarburos son más livianos que el agua y tienen una gravedad específica por debajo de la densidad del crudo y los productos de hidrocarburo, el instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute) clasifica al petróleo e hidrocarburos como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. *Tipos de petróleo e hidrocarburos según gravedad °API*

Tipo	°API	Característica
Ligero	> 31,1	Fácil transporte y extracción, ideal para refinar en combustibles y derivados.
Mediano	22,3 – 31,1	Fácil transporte y extracción, ideal para combustibles y derivados.
Pesado	10 – 22,3	Fácil transporte y difícil extracción, ideal para combustibles y derivados.
Extrapesado	Menor a 10	Difícil transporte y difícil extracción, ideal para derivados.

Fuente: Adaptado de Villareal G. (2011)

2.2.2.1. El diésel o gasóleo

Menna, (2018) señala que el gasóleo, gasoil o diésel es un hidrocarburo (alcano) en estado líquido que está compuesto básicamente por parafinas, se obtiene gracias al proceso de destilación del petróleo crudo que es sometido a purificación para eliminar el azufre y otros componentes, así mismo empleado como combustible tanto en calefacción como en los motores con ciclo diésel. Tiene un costo más reducido que la gasolina, debido a un asunto de impuestos y a que su rendimiento es mucho más eficaz, así mismo se compone en un 75% por hidrocarburos saturados (isoparafinas y cicloparafinas), el resto son hidrocarburos aromáticos (alcalobencenos y naftalenos). La fórmula química general del gasóleo común es $C_{12}H_{26}$, incluyendo cantidades pequeñas de otros hidrocarburos cuyas fórmulas van desde $C_{10}H_{22}$ a $C_{15}H_{32}$

a. Propiedades

Este compuesto blanquecino o verdoso tiene una densidad de 850 kg/m^3 y presenta un poder calorífico de 8.800 kcal/kg. A diferencia de la gasolina, el gasoil no se mezcla con etanol**,** aunque sí presenta aditivos que mejoran las prestaciones y cualidades del motor mientras sea de más calidad, el rendimiento del motor y su potencia serán también mejores, puesto que el gasoil lubricará todos sus componentes internos. Un aproximado del 86,1 % de la composición del gasoil es carbono (Menna, 2018). Existen 03 tipos diésel los cuales sé que se detallan a continuación en la tabla 3:

***Tabla 3**. Tipos de diésel y consideraciones de uso*

Tipo	Uso
Gasoil A	Comúnmente permitido para automóviles
Gasoil B	Usado en el área agrícola e industrial.
Gasóleo C	Usado en la calefacción doméstica para el agua caliente y también es de uso industrial.

Fuente: Adaptado de Menna (2018)

b. Características

Menna (2018) nos detalla las principales características del diésel los cuales se muestran a continuación:

- Los hidrocarburos que conforman el diésel son muy poco volátiles, además se caracteriza por ser aceitoso, lo que permite lubricar las partes del motor.
- La fracción de gasoil cambia de un lugar a otro de acuerdo a estándares nacionales y al petróleo que se usa como materia prima.
- Hay variantes ligeras para motores de vehículos de carreta y pesados para motores navales o ferrocarriles.

2.2.2.2. Aceites usados

Los aceites usados son compuestos (alcanos) obtenidos a partir del petróleo refinado (aceites minerales) o de productos químicos (aceites sintéticos), por lo que según su función se clasifican en diferentes tipos: aceites lubricantes, aceites o fluidos hidráulicos, aceites de motor, aceites de transmisión y aceites de aislamiento o transmisión de calor (CC.OO., 2006). Los aceites usados son una mezcla de estos compuestos debido a que tras uso se encuentra contaminado con impurezas físicas o químicas que ya no cumplen con su función original (IPES, 2005). Por lo que son reemplazados por otros nuevos generando un residuo que denominamos aceite usado (CC.OO., 2006).

Navarro W. (2014) menciona que en la práctica, el aceite usado es un líquido más o menos viscoso de color negro que puede contener numerosas sustancias peligrosas disueltas en él, así mismo es una mezcla muy compleja de compuestos orgánicos derivados de los procesos de oxidación y partículas

resultantes del desgaste de los metales que conforman la maquinaria, su composición suele ser la siguiente: Aceite base mineral o aceite sintético con aditivos (65 %) y agua, restos de aditivos y compuestos generados en el uso como por ejemplo partes metálicas generadas por el desgaste de piezas en movimiento (35 %).

Las propiedades de los aceites usados dependen prioritariamente de las propiedades de las bases lubricantes de las cuales se derivan, de los aditivos adicionados para mejorar la viscosidad, el poder detergente y la resistencia a altas temperaturas, además, como resultado del servicio prestado, contiene sólidos, metales y productos orgánicos (UPME, 2001).

a. Características

En general los aceites usados automotor e industriales presentan las características que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. *Características de los aceites usados*

Características	Automotor	Industrial
Viscosidad	97 – 120 SSU	1446 – 330 SSU
Gravedad °API	19 – 22 ºAPI	25,7 – 26,2 ºAPI
Peso especifico	0,9396 – 0,8692	0,9002 – 0,8972

Fuente: Adaptado de UPME (2001)

Así mismo los aceites son considerados potencialmente peligrosos para el ambiente debido a su persistencia y su habilidad para esparcirse en grandes áreas de suelo y del agua, formando un film que no permite el ingreso de oxígeno, lo que produce rápidamente una significativa degradación de la calidad del ambiente. En el caso de los aceites usados existe el riesgo adicional de la liberación de los contaminantes tóxicos presentes como es el caso de los metales pesados (Martínez et al. 2005).

2.2.3. Contaminación por derrames de hidrocarburos

La intensa actividad desarrollada por la industria del petróleo y sus derivados generan grandes impactos al ambiente pues la mayor parte de estos compuestos se utiliza como combustible en forma de gasolina, diésel, turbosina,

entre otros; junto con algunas fracciones volátiles (metano, propano y butano) que son la principal fuente de energía, tanto industrial como doméstica. Las fuentes de emisión de hidrocarburos al ambiente pueden ser naturales o antropogénicas; estas últimas son la principal causa de contaminación ambiental, ingresan al ambiente desde fugas de tuberías, tanques de almacenamiento y eliminación en la tierra de desechos de petróleo (Bamforth y Singleton, 2005; Shahriari et al., 2006). Las principales fuentes de emisión son los procesos de explotación y transporte de hidrocarburos, además, el parque automotor (Terrado et al., 2010).

Al suceder estos accidentes, los hidrocarburos sufren una serie de cambios progresivos de sus propiedades físico-químicas atribuyéndose esto al proceso de intemperización o meteorización el cual se inicia una vez cuando ocurre el derrame y continúa indefinidamente e incluye: evaporación, disolución, dispersión, oxidación, emulsión, sedimentación y biodegración (Alonso M., 2012). La tasa de intemperización varía en función de las características del producto derramado y de las condiciones climáticas existentes en el lugar del derrame, así mismo el impacto de los derrames varía de acuerdo al tipo de crudo transportado, el tamaño del derrame, las condiciones climáticas al momento del derrame y de los ecosistemas.

Asimismo, en general el crudo ligero y el petróleo refinado (como diésel y gasolina) pueden penetrar mejor en el suelo y llegar a las capas freáticas, y ser muy tóxico para la microflora del suelo. Por otro lado, pueden evaporarse con mayor rapidez, y por lo mismo, persistir por menor tiempo en el ambiente, de igual manera, los crudos livianos pueden penetrar más eficientemente en la columna de agua que los crudos pesados y ser muy tóxicos, pero los crudos pesados permanecen por más tiempo en el ambiente. (Bravo E., 2007).

2.2.3.1. Impacto de los derrames de hidrocarburos

Después de producido un derrame de petróleo y/o sus derivados en el ambiente, el medio abiótico y todos sus componentes son afectados gravemente, a continuación, en la tabla 5 se realiza una breve descripción de los impactos abióticos que se da en un derrame de hidrocarburos y su posterior tratamiento.

Tabla 5. *Impactos de los derrames de hidrocarburos en el medio abiótico*

Componente afectado	Consecuencias
Agua	- Muerte de organismos por asfixia. - Destrucción de organismos jóvenes o recién nacidos - Disminución de la resistencia o aumento de infecciones en las especies, especialmente aves, por absorción de ciertas cantidades sub-letales. - Efectos negativos sobre la reproducción y propagación a la fauna y flora marina. - Incorporación de carcinógenos en la cadena alimentaria. - Disminución de entrada de luz en el cuerpo de agua, y disminución de oxígeno disuelto.
Suelo	- Aumento del carbono orgánico. - Disminución de pH, debido a la acumulación de carbono orgánico y generación de ácidos orgánicos. - Aumento de manganeso y hierro y fosforo disponible - Aumento de la retención del agua en la capa superficial. - La porosidad de los suelos tiende a disminuir.

Fuente: Adaptado de Angeles M. (2018)



Fuente: Diario El Correo (2017)

Figura 4*. Contaminación ambiental por derrame de petróleo crudo en la selva norte del Perú.*

Los componentes bióticos del medio ambiente son más susceptibles a los derrames de petróleo y/o hidrocarburos pues la gravedad del derrame de hidrocarburo es directamente proporcional a la biodiversidad de la zona donde estos suceden, en la tabla 6 se realiza una breve descripción de los impactos bióticos más importantes que se da en un derrame de hidrocarburos y su posterior tratamiento como así también a la salud de las personas.

Tabla 6. *Impactos de los derrames de hidrocarburos en el medio biótico*

Componente afectado	Consecuencias
Fauna	- Lenta degradación, acumulación en los sedimentos, suelos, plantas acuáticas y terrestres, peces e invertebrados. - Inhiben el crecimiento de las plantas baja degradación. - Destrucción de organismos jóvenes o recién nacidos. Muerte de organismos en asfixia y aumento de infecciones. - Destrucción de las fuentes alimenticias de las especies superiores. Incorporación de carcinógenos en la cadena alimentaria.
Flora	- Degradación y pérdida de la vegetación en zonas inundables y seminundables. - Fraccionamiento de la estructura del bosque primario y/o secundario por la zona de derrame de hidrocarburos. - Degradación, alteración y muerte del fitoplancton por las presencias de contaminantes. - Acelerada muerte de vegetación acuática por el incremento en la turbidez general por los procesos de tratamiento y recuperación de petróleo.
Personas	- Hidrocarburos aromáticos policíclicos: Vías de penetración: inhalación, ingestión y dérmica son los más tóxicos de los hidrocarburos. La exposición en periodos prolongados ha desarrollado casos de cáncer y mutagénico. - Inhabilitación momentánea para fuente de agua a las personas. - Benceno y derivados, Vías de penetración: inhalación, ingestión y dérmica, posibles efectos cancerígenos y teratogénicos. Atacan al hígado produciendo coma hasta la muerte. - Bifenilos policlorados causa: depresión del sistema nervioso central, inconsistencia a menudo mortal (solo bajo altas concentraciones), dermatitis, dolor abdominal y de garganta.

Fuente: Adaptado de Ángeles M. (2018)

2.2.3.2. Métodos convencionales para tratar derrames de hidrocarburos

a. Contención y recolección mecánica

Es una técnica que debe llevarse a cabo tan rápido como sea posible con la finalidad de minimizar los daños provocados en el ambiente. Uno de los equipos comúnmente empleados durante esta etapa son las barreras de contención o booms. Estas barreras están fabricadas principalmente con materiales sintéticos como las fibras de polietileno o espuma de poliuretano, nylon, neopreno, PVC, etc. Las barreras de contención se usan para controlar la propagación de hidrocarburos y permitir su posterior recuperación, remoción o dispersión (Silos J., 2008). Posterior a la contención, equipos llamados skimmers (recolectores) son usados para la recuperación de hidrocarburos, la principal ventaja de los recolectores de adhesión es su flexibilidad, que permite la aplicación de estos equipos en derrames de cualquier espesor, algunos de estos recolectores funcionan bien en agua con gran cantidad de desechos o presencia de hielo, los recolectores de succión funcionan igual que una aspiradora.

Otra alternativa es el uso de maquinaria de ingeniería civil no especializada, como niveladoras, cargadores y excavadoras frontales, para recolectar y retirar hidrocarburos varados y material contaminado. El uso de mano también es adecuado en todos los tipos de terrenos, aunque ofrece resultados particularmente óptimos en áreas inaccesibles para los vehículos. Un equipo de trabajo que utilice herramientas manuales puede ser más selectivo que las técnicas que únicamente utilizan maquinaria, puesto que puede minimizarse la cantidad de material limpio subyacente recolectado (ITOPF, 2012). Normalmente, resulta preferible utilizar una combinación de equipos pesados y recolección manual para retirar material contaminado.

b. Tratamientos biológicos

b.1. Bioremediación

Proceso biológico en el cual microorganismos como bacterias, hongos y levaduras degradan diversos contaminantes hasta compuestos menos tóxicos o no tóxicos presentes en suelo, agua o aire (Olguín et al., 2007).

b.2. Biodegradación

La biodegradación de hidrocarburos es un proceso que ocurre lentamente de manera natural, sin embargo, la remoción de hidrocarburos debe realizarse de manera rápida para minimizar daños ambientales. Las tecnologías de bioremediación como la bioestimulación y la bioaumentación son de gran ayuda y estas técnicas son a menudo empleadas después de que los métodos de contención mecánica y recuperación de hidrocarburos ya han sido aplicados (USEPA, 1999).

c. Tratamientos químicos

El principal propósito de la aplicación de agentes químicos comúnmente conocidos como dispersantes, es disgregar una mancha de hidrocarburos en numerosas gotas pequeñas que puedan diluirse rápidamente y degradarse posteriormente por el efecto natural de microorganismos. Si se utilizan correctamente, los dispersantes pueden representar una respuesta eficaz a un derrame de hidrocarburos y puede minimizar o evitar daños en recursos sensibles importantes. (ITOPF, 2012) Como ocurre con otras técnicas de respuesta, debe considerarse cuidadosamente el uso de dispersantes para tener en cuenta las características de los hidrocarburos, condiciones climatológicas, sensibilidades ecológicas y normativas nacionales sobre el uso de dispersantes. En estas razones, debe considerarse el uso de dispersantes sólo en condiciones meteorológicas que impidan el uso eficiente de métodos de contención mecánica (Silos J., 2008).

d. Tratamientos térmicos

d.1. Incineración *In situ*

Medida que puede ser aplicada para combatir un derrame de hidrocarburos la cual se aplica para la combustión controlada del hidrocarburo. Se aplica generalmente de manera simultánea con métodos de contención mecánica, en la mayoría de los casos con barreras de contención resistentes al fuego para delimitar la mancha de hidrocarburo a incinerar (Silos J., 2008). Uno de los principales inconvenientes de la aplicación de esta medida es la liberación de contaminantes a la atmósfera, lo que implica la necesidad del monitoreo de la calidad del aire. En áreas remotas y en agua o suelo cubierto con nieve o hielo, la combustión de hidrocarburos in situ es la medida más conveniente que impide

la expansión de la mancha debido a la inaccesibilidad del derrame que impide el uso de métodos de contención mecánica (USEPA, 1999).

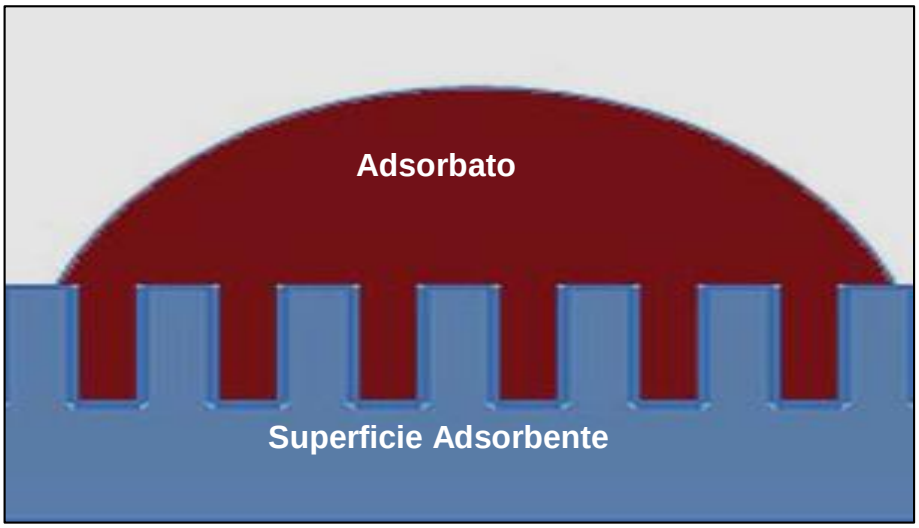
d.2. Incineración *Ex –situ*

Técnica donde se somete al hidrocarburo a altas temperaturas (1200 º C) para que los contaminantes se evaporen y se quemen luego en condiciones controladas. Se requiere la depuración de gases. La disposición final de los suelos contaminados puede hacerse en hornos de cemento por la técnica denominada valorización de residuos lo que permite una eliminación segura de pasivos ambientales (Coria D., 2007).

2.2.4. La Adsorción

El proceso de adsorción es el enriquecimiento, en uno o más componentes, de la región entre dos fases, conocida como interfase o superficie interfacial. El compuesto que se concentra en la superficie se denomina adsorbato, mientras que la fase en la que se produce la acumulación de las sustancias (adsorbato) se denomina adsorbente. Este proceso puede tener lugar en una interfase compuesta por: gas-sólido o líquido-sólido. Así mismo en este fenómeno se da un incremento de la concentración de algunas especies en la superficie debido a fuerzas de interacción atractivas entre los átomos de la superficie del sólido y las moléculas del gas o iones de la solución en contacto con la superficie, dado que hay más de una fase presente, el sistema es heterogéneo y a la región que separa ambas fases se la denomina interfase.

El fenómeno de adsorción está limitado a la superficie expuesta del sólido y se distingue del de absorción pues el adsorbato (especie que adsorbe) no penetra al interior del material (Martínez M., 2013). Por otra parte, El fenómeno de la adsorción se debe a fuerzas presentes en la superficie del adsorbente, estas fuerzas son de la misma naturaleza que las existentes en el seno de un líquido o de un sólido y son motivadas por el desequilibrio de fuerzas que aparecen en la superficie del adsorbente, lo que provoca una fuerza atractiva neta normal a la superficie del mismo Húmpola P. (2013).



Fuente: Adaptado de Gupta (2015)

Figura 5. *Esquema de la adsorción física*

2.2.4.1. Tipos de adsorción

Por la naturaleza de las fuerzas que provocan el fenómeno de adsorción se acostumbra a distinguir tres tipos:

a. Adsorción física

La adsorción física es cuando las fuerzas involucradas son del tipo de Van der Waals, donde el adsorbato está retenido débilmente sobre la superficie del adsorbente y solamente es necesario elevar la temperatura para remover las especies adsorbidas (Bottani, et al. 2006).

Las moléculas no comparten ni transfieren electrones, por lo que tanto el adsorbato como el adsorbente mantienen su individualidad, por esta razón, la adsorción es totalmente reversible en el sentido de la recuperación total del adsorbato, pudiendo producirse la desorción a la misma temperatura, la adsorción física no es específica y en general progresa hasta la formación de multicapas (Húmpola P., 2013). La adsorción física alcanza una condición de equilibrio entre el adsorbato y el adsorbente inmediatamente después del contacto con el adsorbente. Sin embargo, cuando el adsorbente es un sólido poroso o cuando la concentración del adsorbato es pequeña, el contacto total puede estar limitado por procesos difusionales u otros procesos de transporte; entonces, el alcance de equilibrio también es demorado (Romero J., 2000).

b. Adsorción química

Es cuando la interacción entre el adsorbente y el adsorbato es mucho más fuerte y se llega a la formación de un verdadero enlace químico entre los átomos de la superficie del adsorbente y los del adsorbato. En este caso la adsorción es marcadamente irreversible (Bottani et al., 2006). Al contrario de lo que ocurría con la fisisorción, la quimisorción es específica, teniendo lugar solamente en determinadas zonas que se denominan centros activos. Dado que en la quimisorción se producen verdaderos enlaces químicos, los calores de adsorción son del mismo orden de magnitud que los de las reacciones químicas, entre 83,6 y 418 kJ/mol. Además, es un proceso activado, lo que provoca que se favorezca con el aumento de la temperatura al contrario de la fisisorción que se incrementa a medida que la temperatura disminuye (Húmpola P., 2013).

c. Adsorción por intercambio iónico

Proceso mediante el cual los iones del adsorbato se concentran en una superficie (adsorbente) como resultado de la atracción electrostática en los lugares cargados de la superficie a la atracción eléctrica entre el adsorbato y la superficie del adsorbente, en donde los iones de un contaminante se concentran sobre sitios de carga eléctrica opuesta sobre la superficie del adsorbente. Para dos adsorbatos iónicos posibles, a igualdad de otros factores, la carga del ión es el factor determinante en la adsorción de intercambio. Para iones de igual carga, el tamaño molecular (radio de solvatación) determina el orden de preferencia para la adsorción (Romero J., 2000).

2.2.4.2. Uso de adsorbentes para tratar derrames de hidrocarburos

Según el documento de la norma canadiense ASTM (2012) los adsorbentes son materiales solidos e insolubles que se recubre por un líquido en su superficie que incluye poros y capilares sin el hinchamiento sólido más del 50% en exceso de líquido. Comprendiendo una amplia gama de productos que son utilizados para adsorber los hidrocarburos en lugar del agua (Silos J., 2008).

Mediante los procesos de adsorción o una combinación de ambos, los materiales adsorbentes pueden actuar por adsorción o menos habitualmente por absorción (ITOPF, 2012); en la adsorción se atraen preferentemente los hidrocarburos a la superficie del material, mientras que en la absorción se incorporan los hidrocarburos u otro líquido a retirar en el cuerpo del material. La

mayoría de los productos disponibles para la respuesta a derrames de hidrocarburos son adsorbentes, muy pocos son verdaderamente absorbentes (ITOPF, 2012). Así mismo uso de adsorbentes es muy útil en áreas que no pueden ser alcanzadas por estructuras como barreras o skimmers.

Por lo tanto, los materiales adsorbentes permiten retirar hidrocarburos en situaciones que no resultan adecuadas para otras técnicas y proporcionando así un recurso útil en la respuesta a un derrame de hidrocarburos. Sin embargo, los adsorbentes deben emplearse con moderación para minimizar problemas secundarios, concretamente al crear cantidades excesivas de desechos que podrían aumentar considerablemente los costes de una respuesta (ITOPF, 2012). Existe mucha diversidad de materiales que pueden emplearse como adsorbentes. Estos incluyen materiales orgánicos como corteza, turba, serrín, pulpa de papel, bagazo (el residuo del procesamiento de la caña de azúcar), corcho, plumas de gallina, paja, lana y cabello humano, materiales inorgánicos como vermiculita y piedra pómez y materiales sintéticos, como por ejemplo polipropileno y otros polímeros (ITOPF, 2012).

2.2.4.3. Tipos de adsorbentes según su naturaleza

Los materiales orgánicos, inorgánicos y sintéticos naturales han surgido como adsorbentes confiables para limpiar el derrame de petróleo sobre el agua (Asadpour et al. 2013). Los adsorbentes se pueden clasificados en tres categorías generales: naturales orgánicos, naturales inorgánicos y sintéticos.

a. Adsorbentes inorgánicos

Generalmente baratos, de peligrosa y difícil aplicación, entre estas tenemos a la arena, perlita, vermiculita, lana de vidrio y cenizas volcánicas. Estos materiales tienen unas partículas muy pequeñas por lo que presentan una extensa superficie de adsorción así mismo la mezcla adsorbente/hidrocarburo se retira con bastante dificultad (Martínez M., 2013).

b. Adsorbentes orgánicos

Son materiales que se utilizan para inmovilizar petróleo en áreas ambientalmente sensibles, para proteger la vegetación y la vida salvaje, algunos productos se tratan para adquirir propiedades oleofílicas (Gobierno de Canarias, 2005). Existe una gran cantidad de adsorbentes orgánica que está representado

por materiales lignocelulósicos, algas, quitina/quitosano, lodos activados, biomasa bacteriana, biomasa fúngica, etc. Entre estos, los residuos lignocelulósicos y la quitina/quitosano se pueden aplicar a gran escala porque poseen una gran disponibilidad (Tran et al., 2015). Las fuentes de biomasa provenientes de subproductos agrícolas incluyen: madera, cultivos leñosos de corta duración, desechos agrícolas, especies herbáceas de corta duración, bagazo, aserrín, pastos, etc. (Rangabhashiyam et al., 2014)

Los materiales de origen natural que se emplean para realizar el proceso de adsorción se conocen como “bioadsorbentes” (Fomina y Gadd, 2014). Básicamente un bioadsorbente de bajo costo requiere poco procesamiento, es abundante en la naturaleza o es un subproducto o desecho de alguna industria o proceso determinado (Fomina y Gadd, 2014). El uso de residuos en el proceso de bioadsorción es importante y factible dado que: Los materiales son usualmente económicos y se eliminan los costos de crecimiento de la biomasa, así mismo el proceso es independiente de las restricciones fisiológicas de células vivas (Rangabhashiyam et al., 2014).



Fuente: ITOPF (2012)
Figura 6. *Barreras adsorbentes improvisadas construidas de paja y redes*

c. Adsorbentes sintéticos

Materiales altamente oleofílico/hidrofóbico que son ofertados en el mercado de diversas formas diversas como rollos, papel, mantas, etc. Por lo general estos materiales no son biodegradables, pero si son ambientalmente

seguros (inertes) por lo que existe una gran variedad de productos sintéticos para contener y recuperar hidrocarburos de un derrame, entre estas tenemos al: poliuretano, espuma de formaldehído de urea, fibra de polietileno, fibra de polipropileno, poliestireno en polvo (Gobierno de Canarias, 2005).

2.2.4.4. Tipos de adsorbentes según su presentación

Los adsorbentes pueden utilizarse en una amplia gama de presentaciones, dependiendo de la función que se busca cumplir con su aplicación. ASTM (2012) muestra las principales presentaciones de adsorbentes y sus aplicaciones.

a. Material adsorbente Tipo I (rollos, películas, hojas, mantas, tejidos o placas)

Es un material con la longitud y anchura mayor que su espesor y que tiene una forma lineal y resistencia suficiente, para manipularse ya sea saturado o no saturado (ASTM, 2012).

Ventajas: Almacenamiento a largo plazo y relativamente sencillo de desplegar y retirar. Además, tiene la posibilidad de obtener una elevada relación de recolección de hidrocarburos si se utiliza a pleno rendimiento (ITOPF, 2012).

Desventajas: Eficiencia limitada para hidrocarburos meteorizados o más viscosos. No se descompone con rapidez; esto limita las opciones de desecho (ITOPF, 2012).

b. Material adsorbente Tipo II (sueltos)

Un material no consolidado, en partículas sin forma ni resistencia, que puede ser manipulado con palas y/o equipos dispersantes (ASTM, 2012).

Ventajas: A menudo abundante de forma natural o ampliamente disponible como subproducto de residuo de procesos industriales y por lo general son de bajo costo. Ideal para proteger la fauna y flora (ITOPF, 2012).

Desventajas: Difícil de controlar; el viento puede esparcir, así mismo son difíciles de retirar. Puede resultar difícil bombear la mezcla de hidrocarburos y adsorbente. Más limitaciones para desechar la mezcla de hidrocarburos y adsorbente en comparación con los hidrocarburos únicamente (ITOPF, 2012).



Fuente: ITOPF (2012)

Figura 7. *Aplicación de adsorbentes orgánicos tipo II en derrames de hidrocarburos.*

c. Material adsorbente Tipo III (Adjuntos)

IIIa. Almohadillas, Material adsorbente contenido por un tejido o red exterior que tiene permeabilidad al hidrocarburo, pero con aberturas lo suficientemente pequeñas para retener sustancialmente el material adsorbente dentro del textil o red (ASTM, 2012).

III.b Material brazo-adsorbente contenido por un tejido exterior o malla que es permeable al aceite, pero con aberturas suficientemente pequeñas para mantener sustancialmente el material adsorbente dentro del tejido o malla. La longitud de la superficie excede sustancialmente otras dimensiones y con miembros de resistencia paralelos con la longitud. Los brazos también son provistos de conexiones para el acoplamiento de plumas adsorbentes (ASTM, 2012).

Ventajas: Fáciles de desplegar y retirar que, en el caso del adsorbente suelto, así mismo la barrera encerrada presenta mayor área superficial que la barrera continua (ITOPF, 2012).

Desventajas: Tiene una resistencia estructural limitada por la resistencia de la malla o red, así mismo las barreras orgánicas pueden saturarse y hundirse rápidamente. La retención de hidrocarburos está limitada (ITOPF, 2012).

d. Material Tipo IV (Unidades de aglomeración)

Es un ensamble de hilos, redes abiertas u otras formas físicas, dadas a una estructura abierta que mínimamente impide la intrusión en sí misma de aceites de alta viscosidad. Son utilizados normalmente para aceites o hidrocarburos que presentan viscosidades del orden de 10 000 cp de viscosidad. Dichos aceites se mantienen entonces en esta estructura permitiendo el manejo del aceite/estructura compuesta (ASTM, 2012).

Ventajas: Eficaz sobre hidrocarburos meteorizados y más viscosos (ITOPF, 2012).

Desventajas: Menos eficaz sobre hidrocarburos frescos ligeros e intermedios (ITOPF, 2012).

A continuación, se detallan algunos ejemplos de materiales adsorbentes según su tipo y naturaleza:

Tabla 7. *Ejemplos de materiales adsorbentes según su tipo.*

Tipo	Materiales
Tipo I	Rollos, hojas, mantas, toallas y tapetes.
Tipo II	Musgo, bagazo de caña, arcillas, aserrines, cascarilla de arroz, cabello humano, polipropileno a granel.
Tipo III	Cordones oleofílico (booms), colchonetas almohadas.
Tipo IV	Pompones

Fuente: Adaptado de ITOPF (2012) y ASTMF (2012)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Adsorbato:** Película formada por moléculas, átomos o iones adsorbidos por una sustancia en su superficie (RAI, 2019).
- **Absorción:** La absorción es la propiedad de capturar cierto volumen fluido dentro de los espacios porosos del aditivo por medio de acción capilar, osmótica o química incorporándose así al cuerpo del material (Silos J., 2008).
- **Aceite residual:** Derivado del petróleo como un producto de desecho de la utilización de aceites en una amplia gama de actividades industriales y comerciales (Wikipedia, 2019).

- **Adsorción:** La adsorción es el resultado de la atracción entre las moléculas de la superficie del sólido y las del fluido (Garcés y Coavas, 2012).
- **American Petroleum Institute (API):** Es una medida de densidad que, en comparación con el agua a temperaturas iguales, precisa cuán pesado o liviano es un petróleo, hidrocarburo o aceite (Wikipedia, 2019).
- **Celulosa**: Biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre, se encuentra en las paredes de las células de las plantas (Ecured, 2019).
- **Diésel:** También denominado gasóleo o gasoil, es un hidrocarburo líquido que está compuesto fundamentalmente por parafinas (Menna, 2018).
- **Lignina:** Es el constituyente intercelular incrustante o cementante de las células fibrosas de los vegetales (Ecured, 2019).
- **Oleofílico**: Material que tiene afinidad y selectividad por sustancias aceitosas.
- **Parafinas:** Las parafinas son uno de los principales constituyentes del crudo y se encuentran en los diferentes productos refinados del petróleo como gasolina, queroseno, diésel, aceites combustibles, entre otros**.** (Bustamante A., 2007).
- **Polipropileno:** Fibras sintéticas que se fabrican por el hombre y son resultado de la investigación y el desarrollo de las industrias petroquímicas y textiles (Armas A., 2016).
- **Residuo orgánico industrial:** Los residuos orgánicos industriales o subproductos industriales, son generados en cualquier proceso productivo y los cuales no son de utilidad posteriormente para la cadena de producción como materia prima (Rosas et al., 2016).
- **Skimmers:** Recolectores de petróleo diseñados para retirar hidrocarburos en lugar de agua (ITOPF, 2012).
- **Viscosidad:** La viscosidad es una propiedad física característica de todos los fluidos, la cual emerge de las colisiones entre las partículas del fluido que se mueven a diferentes velocidades, provocando una resistencia a su movimiento (Wikipedia, 2019).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación es de tipo **básico**. Por su profundidad es **Experimental** porque busca desarrollar una interpretación correcta del fenómeno estudiado (capacidad adsorbente) mediante la manipulación de ciertas variables (tipo de residuo y tiempo) en condiciones de laboratorio controladas y **Explicativa** porque se busca encontrar las razones o causas que ocasionan el fenómeno estudiado.

Por su enfoque y tratamiento de datos la presente investigación es **cuantitativo.**

3.2. POBLACION Y MUESTRA

En esta investigación se utilizó un muestreo No probabilístico pues la muestra fue seleccionada en función de su accesibilidad y a criterio personal, con el fin de obtener la cantidad necesaria de muestras para el desarrollo completo y satisfactorio de los experimentos.

Cada tipo de residuo orgánico fue recolectado de las empresas: Molinera Imperio SAC, Aserradero Vásquez SRL y Avícola Abiel Euler que se encuentran en la zona de Pucallpa, la recolección se realizó entre los meses de Junio - Julio del 2019.

3.3. LUGAR DE ENSAYOS EXPERIMENTALES

El trabajo de investigación se realizó en los ambientes de la Universidad Nacional de Ucayali, en las instalaciones del Laboratorio de Transformación Química Forestal, cuya ubicación presenta las coordenadas UTM 498884 mE y 9050923 mS como se muestra en la figura 8.

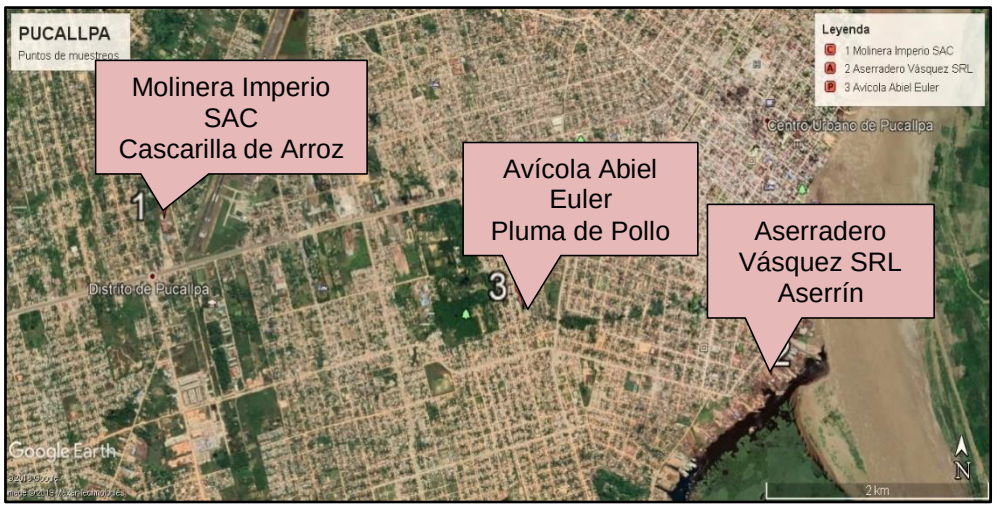


Fuente: *Google earth (2019)*

Figura 8. *Ubicación del Laboratorio de Trasformación Química Forestal-UNU.*

3.3.1. Ubicación de los puntos de recolección de las muestras

El lugar donde se recolectaron los residuos: cascarilla de arroz, aserrín y pluma de pollo, se muestra en la figura 9 y sus respectivas coordenadas UTM en la tabla 8.



Fuente: Google earth (2019)

Figura 9. *Ubicación de los puntos de recolección de la muestra*

Tabla 8. *Coordenadas de los puntos de recolección de la muestra.*

Puntos de recolección	Empresa	Dirección	Coordenadas UTM	
1	Molinera Imperio SAC	Av. Shirambari #375	546043 mE	9072742 mS
2	Aserradero Vásquez SRL	Jr. Magdalena #515	551585 mE	9071428 mS
3	Avícola Abiel Euler	Av. Bellavista	550934 mE	9072734 mS

3.4. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Ficha de recolección de datos

Para la recolección de datos se emplearon fichas de elaboración propia, siguiendo las pautas de la norma ASTMF-12, que permitió un manejo ordenado y adecuado de los datos que se obtuvieron en el proceso de esta investigación, la estructura de esta ficha se muestra en la figura 23 del correspondiente anexo.

3.4.2. Materiales y equipos

a. Materiales experimentales

- Residuos orgánicos (cascarilla de arroz, aserrín tornillo y pluma de pollo)
- Aceite residual y diésel
- Adsorbente convencionales sintético y orgánico

b. Materiales de laboratorio

- Mandil de laboratorio
- Guantes quirúrgicos, gorras y mascarillas
- Malla Tyler 7,10 µm, 1,4 mm y 2 mm
- Celda de adsorción (envase de borisilicato) 18 x 10 cm
- Cesta de adsorción 15 x 7 cm x
- Celda de drenaje 13 x 10.5 cm x
- Bolsas herméticas 25 x 17.5 cm
- Recubrimiento de vidrio 20 cm x 20 cm
- Regla stainless x 30 cm
- Crisol
- Cronómetro

c. Materiales de escritorio

- Cuaderno de apuntes
- Etiquetas
- Cinta de embalaje

d. Materiales de Campo

- Guantes, botas y costal

e. Equipos de laboratorio

- Balanza analítica – RADWAG: para el pesaje en los ensayos de capacidad de adsorción.
- Estufa de aire forzado - ESCO ISHOTERM: se utilizó para el tratamiento térmico de los residuos.
- Estereoscopio – MICROS AUSTRIA: para observar estructuralmente a los residuos.

3.5. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. En campo

- Se recolectó tres tipos de residuos orgánicos de las actividades industriales (molinera, aserradero y avícola) en la zona de Pucallpa, teniendo en cuenta el buen estado de cada residuo, realizándose esto mediante comprobación visual y al tacto; cualquier material con signos de descomposición o ajenos a la composición del residuo no fueron recolectados.
- Los adsorbatos fueron elegidos debido a sus diferentes viscosidades entre ellos; el aceite residual se obtuvo por recolección y donación de las empresas de mantenimiento de maquinaria pesada; el diésel fue adquirido de las estaciones de servicios que expenden combustibles en el mercado local. Para la investigación, el aceite residual representa a un hidrocarburo medio - pesado y el diésel un hidrocarburo ligero, esto conforme a lo reportado por (Abdullab et al., 2010)
- Los adsorbentes convencionales fueron adquiridos de acuerdo a su disponibilidad en la zona de estudio, así mismo se escogió los que usualmente se emplean en derrames de hidrocarburos: polipropileno y orgánico de composición desconocida. Por motivos de imparcialidad a una marca determinada estos fueron denominados: adsorbente convencional sintético (AC1) y adsorbente convencional orgánico (AC2).

3.5.2. En laboratorio

3.5.2.1. Acondicionamiento de las muestras (residuos orgánicos)

Los residuos recolectados y seleccionados por tipo, fueron limpiados de cuerpos extraños como polvo e insectos presentes en ellos. Luego se procedió a realizar un acondicionamiento adicional a cada tipo de residuo el cual se describe a continuación:

- **Cascarilla de arroz:** Se pasó por un proceso de tamizado para separar el polvillo de las cascarillas de arroz; este proceso se realizó con la malla Tyler n° 1,4 mm.
- **Aserrín:** Se pasaron por un proceso de tamizado para separar en dos granulometrías, la primera de 2 mm y la segunda de 7,10 µm.
- **Plumas de pollo:** Para el caso de las plumas de pollo se realizó un lavado con detergente y enjuague, con el fin de remover todo rastro de sustancias extrañas presentes en este residuo, luego se secó al sol por un periodo de 24 horas, para luego cortar (1 cm) las puntas del raquis.

3.5.2.2. Tratamiento térmico de residuos orgánicos

Se realizó un tratamiento térmico a cada tipo de residuo, este procedimiento se realizó con una estufa de aire forzado a 80°C por un periodo de 24 horas, siguiendo el procedimiento de Castillo (2017); Segura (2017); Amaringo y Hormaza (2018). Puesto que los residuos orgánicos deben ser secados, con el fin de extraer el agua contenida por medios físicos hasta que el nivel de agua sea adecuado para su conservación por largos periodos (Alzate et al., 2011). Luego los residuos fueron colocados dentro de bolsas herméticas para evitar el contacto con el polvo y la humedad, así como la mezcla entre diferentes materiales.

3.5.2.3. Clasificación de residuos orgánicos

A partir de este procedimiento los residuos orgánicos se clasificaron y fueron denominados con la siguiente nomenclatura: residuo cascarilla de arroz (RC), residuo aserrín (RA) y residuo pluma de pollo (RP), las características importantes de estos materiales se detallan en la tabla 23 del correspondiente anexo.

3.5.2.4. Observación de las estructuras de los residuos orgánicos

Se analizaron los aspectos y estructuras de cada residuo empleando un estereoscopio de marca MICROS AUSTRIA. Este procedimiento se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología y Patología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Ucayali.

3.5.2.5. Ensayos de la capacidad de adsorción

Para determinar la capacidad de adsorción de aceite residual y diésel, según las condiciones propuestas en esta investigación se adaptó el método canadiense ASTM F726-12 “Método de prueba estándar para rendimiento sorbente de los adsorbentes” en su apartado “Oíl Adsorption- Short Test”. El procedimiento experimental consta de los siguientes pasos:

1. En primer lugar, se realizó el pesaje de 04 gramos de muestra de residuos a ensayar.
2. Posteriormente se llenó la celda de adsorción de 2,5 cm de espesor de adsorbato (aceite residual y diésel).
3. Se colocó el residuo en la cesta de adsorción (impregnada previamente con adsorbato).
4. Se colocó la cesta de adsorción con el residuo en la celda de adsorción, el cual se selló con una cubierta de vidrio.
5. Transcurrido el tiempo de ensayo se retiró la cesta de adsorción de la celda, para ponerlo a drenar por un tiempo de 2 minutos.
6. Luego se transfirió inmediatamente el adsorbente, atrapando cualquier goteo adicional, a un recipiente previamente tarado para determinar su peso, esta operación se realizó por triplicado para cada ensayo.

Cabe mencionar que el tipo de adsorción observado en la presente investigación y para todos los experimentos realizados fue la adsorción física o también denominada fisisorción, con la consecuente intervención de las fuerzas de Van der Walls, puesto que los materiales ensayado mantuvieron su naturaleza y no se observó reacción química alguna.

3.6. PROCESAMIENTO DE DATOS

3.6.1. Determinación de humedad de los residuos orgánicos

Se determinó el contenido de humedad de los residuos después del tratamiento térmico, empleando el método de la estufa. Este análisis se realizó en el laboratorio de Natura Analítica y los resultados se presentan en las figuras 24, 25 y 26.

3.6.2. Determinación de la gravedad API de aceite residual y diésel

La determinación de la gravedad API se realizó en el Laboratorio de la Facultad de petróleo, gas natural y petroquímico de la Universidad Nacional de Ingeniería. Para este análisis se empleó el método ASTM D287-12b y los resultados se presentan en las figuras 27 y 28.

3.6.3. Determinación de la capacidad de adsorción

Para calcular la capacidad de adsorción en la presente investigación se empleó la siguiente formula:

$$C_{ad} = \frac{P_f - P_o}{P_0}$$

Dónde:

C_{ad}: Capacidad de adsorción de aceite residual o diésel (g/g)

P_o: Peso en seco del residuo (g)

P_f: Peso final del residuo (g)

3.7. DISEÑO ESTADISTICO

La presente investigación se planteó con un diseño de modelo fijo con dos factores y tres niveles para cada uno: tipo de residuo (cascarilla de arroz, aserrín y pluma de pollo) y tiempo de adsorción (10, 15 y 20 minutos) con 03 repeticiones por tratamiento y con un nivel de significancia de 0,05 utilizando el análisis de varianza (ANOVA). Los tratamientos fueron representados por la intersección entre los factores tipo de residuo y tiempo, como se detalla en la tabla 9. Para evaluar la capacidad de adsorción de los adsorbentes convencionales se empleó el mismo diseño experimental.

Tabla 9. *Diseño experimental de la capacidad de adsorción*

TIEMPO	ACEITE RESIDUAL			DIÉSEL		
Minutos	**RC**	**RA**	**RP**	**RC**	**RA**	**RP**
10	T1	T4	T7	T10	T13	T16
15	T2	T5	T8	T11	T14	T17
20	T3	T6	T9	T12	T15	T18

Dónde: RC: cascarilla de arroz RA: aserrín, RP: pluma de pollo.
Nota: 03 repeticiones por tratamiento

Dónde:

T1: Residuo cascarilla de arroz (RC) por 10 minutos de ensayo /Aceite residual

T2: Residuo cascarilla de arroz (RC) por 15 minutos de ensayo /Aceite residual

T3: Residuo cascarilla de arroz (RC) por 20 minutos de ensayo /Aceite residual

T4: Residuo aserrín (RA) por 10 minutos de ensayo /Aceite residual

T5: Residuo aserrín (RA) por 15 minutos de ensayo /Aceite residual

T6: Residuo aserrín (RA) por 20 minutos de ensayo /Aceite residual

T7: Residuo pluma de pollo (RP) por 10 minutos de ensayo /Aceite residual

T8: Residuo pluma de pollo (RP) por 15 minutos de ensayo /Aceite residual

T9: Residuo pluma de pollo (RP) por 20 minutos de ensayo /Aceite residual

T10: Residuo cascarilla de arroz (RC) por 10 minutos de ensayo /Diésel

T11: Residuo cascarilla de arroz (RC) por 15 minutos de ensayo /Diésel

T12: Residuo cascarilla de arroz (RC) por 20 minutos de ensayo /Diésel

T13: Residuo aserrín (RA) por 10 minutos de ensayo /Diésel

T14: Residuo aserrín (RA) por 15 minutos de ensayo /Diésel

T15: Residuo aserrín (RA) por 20 minutos de ensayo /Diésel

T16: Residuo pluma de pollo (RP) por 10 minutos de ensayo /Diésel

T17: Residuo pluma de pollo (RP) por 15 minutos de ensayo /Diésel

T18: Residuo pluma de pollo (RP) por 20 minutos de ensayo /Diésel

3.8. TRATAMIENTO DE DATOS

El análisis de varianza (ANOVA) se realizó para determinar la influencia de cada factor y la interacción entre ellos, así mismo determinar si existe diferencia entre tratamientos. El análisis se realizó empleando el paquete estadístico IBM SPSS STATISTICS versión 24 con asistencias del programa Microsoft Word y Excel versión 2013.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Capacidad de adsorción de aceite residual

En la tabla 10 se presentan los resultados de la capacidad de adsorción de aceite residual de cascarilla de arroz (RC), aserrín (RA) y pluma de pollo (RP) con tiempos de ensayo de 10, 15 y 20 minutos; los resultados se expresan en gramo de aceite residual por gramo de adsorbente (g/g).

Tabla 10. *Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de aceite residual.*

	R1 g/g	R2 g/g	R3 g/g	Promedio g/g
T1: RC_{10}	4,28	4,50	4,15	**4,3**
T2: RC_{15}	4,28	4,37	4,22	**4,3**
T3: RC_{20}	4,85	4,49	4,63	**4,7**
T4: RA_{10}	9,22	9,18	9,14	**9,2**
T5: RA_{15}	9,7	9,46	9,59	**9,6**
T6: RA_{20}	9,22	9,18	8,76	**9,1**
T7: RP_{10}	21,68	21,23	21,64	**21,5**
T8: RP_{15}	20,6	20,7	20,47	**20,6**
T9: RP_{20}	19,47	19,65	19,46	**19,5**

Dónde: RC: cascarilla de arroz, RA: aserrín, RP: pluma de pollo
Nota: R repeticiones por tratamiento

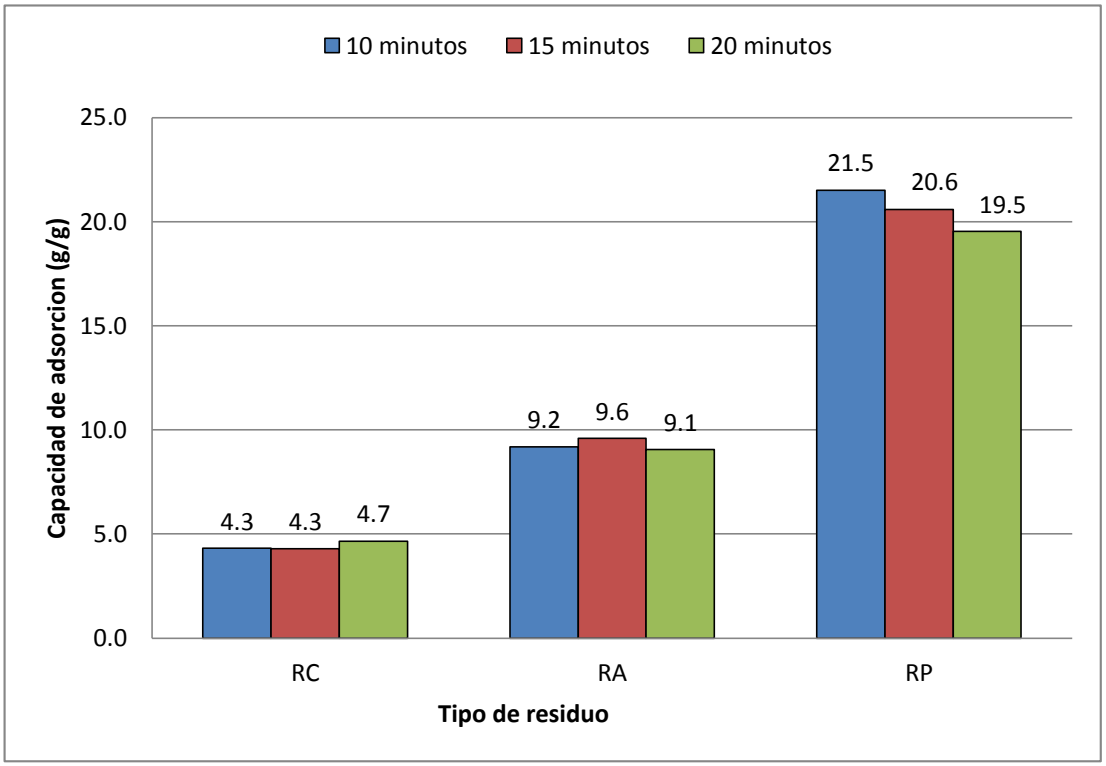


Figura 10. *Capacidad de adsorción de aceite residual del RC, RA y RP.*

Como se puede observar en la figura 10, el RC presenta una capacidad de adsorción de 4,3 g/g para 10 y 15 minutos de ensayo, mientras que en 20 minutos este residuo obtuvo una capacidad de adsorción con 4,7 g/g. En cuanto al RA el resultado muestra una capacidad de adsorción de 9,6 g/g en 15 minutos de iniciado los ensayos, para tiempos de 10 y 20 minutos las capacidades de adsorción fueron de 9,2 y 9,1 g/g respectivamente. El RP con 10 minutos de ensayo presentó una capacidad de adsorción de 21,5 g/g; para 15 minutos se obtuvo una capacidad de adsorción de 20,6 g/g; mientras que con 20 minutos de ensayo se obtuvo una capacidad de adsorción de 19,5 g/g.

Para determinar la influencia de los factores tipo de residuo y tiempo en la capacidad de adsorción de aceite residual se realizó el análisis ANOVA cuyo resultado se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. *Análisis de varianza de la capacidad de adsorción de aceite residual para los factores tipo de residuo y tiempo*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de residuo	1232,106	2	616,05	23351,61	<0,0001	3,55
Tiempo	1,637	2	0,82	31,02	<0,0001	3,55
Tipo de residuo*Tiempo	5,031	4	1,26	47,68	<0,0001	2,93
Error	0,475	18	0,03			
Total	1239,249	26				

El análisis ANOVA indica que el tipo de residuo, tiempo y la interacción entre ellos (Tipo de residuo * Tiempo) muestran un valor de significancia de ($p<0,05$) por lo tanto estos factores influyen significativamente en la capacidad de adsorción de aceite residual.

4.1.1.1. Influencia del tipo de residuo de aceite residual

Como el análisis ANOVA presentó significancia para el factor tipo de residuo, se procedió a realizar el test de Tukey que se muestra en la tabla 12. Con el cual se confirma la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio, pues se muestran tres subconjuntos diferentes uno para cada tipo de residuo.

Tabla 12. *Test de Tukey para el factor tipo de residuo en la capacidad de adsorción de aceite residual.*

Tipo de residuo	N	Subconjunto		
		A	B	C
RC	9	4,42		
RA	9		9,27	
RP	9			20,54

Nota: Alfa = 0.05

4.1.1.2. Influencia del tiempo de aceite residual

Como el análisis ANOVA presentó significancia para el factor tiempo, se procedió a realizar el test de Tukey que se muestra en la tabla 13. Con el cual se confirma la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio, pues se muestran dos subconjuntos diferentes, uno para un tiempo de 20 minutos y otro para tiempos de 15 y 10 minutos.

Tabla 13. *Test de Tukey para el factor tiempo en la capacidad de adsorción de aceite residual.*

Tiempo	N	Subconjunto	
		A	B
20 minutos	9	11,08	
15 minutos	9		11,49
10 minutos	9		11,67

Nota: Alfa = 0.05

4.1.1.3. Interacción tipo de residuo - tiempo de aceite residual

Como el análisis ANOVA presentó significancia en la interacción (tipo de residuo - tiempo), se procedió a realizar el test de Tukey que se muestra en la tabla 14; con el cual se confirma la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio.

Al mostrar significancia la interacción tipo de residuo - tiempo en la capacidad de adsorción de aceite residual, se procedió a realizar la gráfica de interacción que se muestra en la figura 11. Donde se puede observar que no existe un paralelismo entre las líneas mostradas, manifestando interacción.

Tabla 14. *Test de Tukey para la interacción tipo de residuo - tiempo en la capacidad de adsorción de aceite residual.*

Tipo de residuo	Tiempo	N	Medias	Subconjuntos				
RC	15 minutos	3	4,29	A				
RC	10 minutos	3	4,31	A				
RC	20 minutos	3	4,66	A				
RA	20 minutos	3	9,05		B			
RA	10 minutos	3	9,18		B	C		
RA	15 minutos	3	9,58			C		
RP	20 minutos	3	19,53				D	
RP	15 minutos	3	20,59					E
RP	10 minutos	3	21,52					F

Nota: Alfa = 0.05

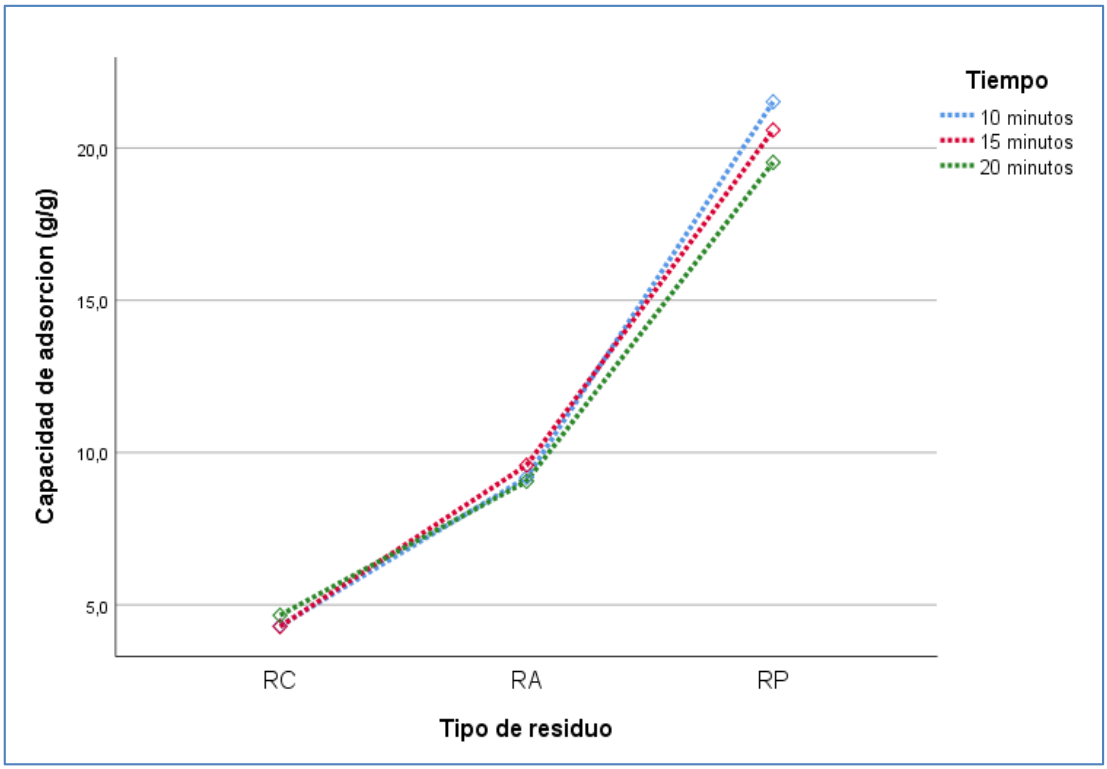


Figura 11. *Gráfico de la interacción entre los factores tipo de residuo-tiempo, en la capacidad de adsorción de aceite residual.*

4.1.2. Capacidad de adsorción de diésel

En la tabla 15 se presentan los resultados de la capacidad de adsorción de diésel de la cascarilla de arroz (RC), aserrín (RA) y pluma de pollo (RP) con tiempos de ensayo 10, 15 y 20 minutos; los resultados se expresan en gramo de diésel por gramo de adsorbente (g/g).

Tabla 15. *Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de diésel.*

	R1	**R2**	**R3**	**Promedio**
	g/g	**g/g**	**g/g**	**g/g**
T10: RC_{10}	2,65	2,73	2,83	**2,7**
T11: RC_{15}	3,31	3,2	3,18	**3,2**
T12: RC_{20}	3,25	3,24	3,4	**3,3**
T13: RA_{10}	6,67	6,53	6,86	**6,7**
T14: RA_{15}	5,9	5,75	5,89	**5,8**
T15: RA_{20}	5,31	5,28	5,31	**5,3**
T16: RP_{10}	13,01	13,14	13,18	**13,1**
T17: RP_{15}	14,89	14,62	14,84	**14,8**
T18: RP_{20}	14,62	14,74	14,51	**14,6**

Dónde: RC: cascarilla de arroz, RA: aserrín, RP: pluma de pollo
Nota: R repeticiones por tratamiento

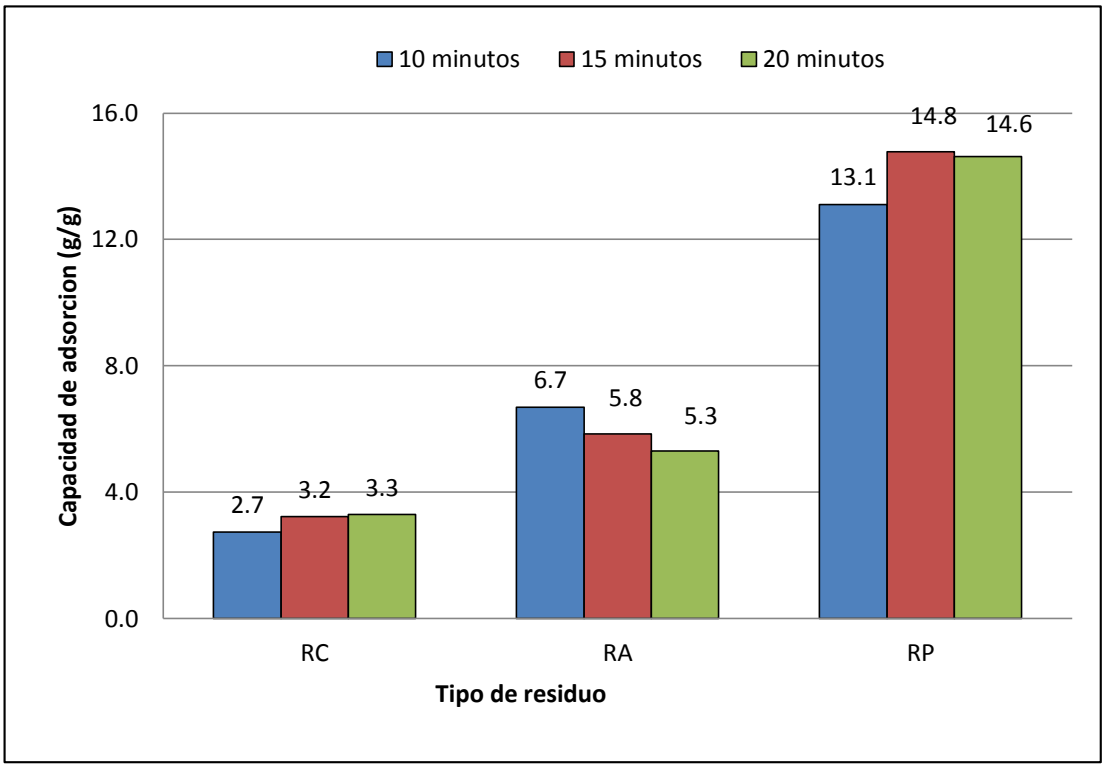


Figura 12. *Capacidad de adsorción de diésel del RC, RA y RP.*

La figura 12 muestra que el RC presentó una capacidad de adsorción de 2,7 g/g hacia los 10 minutos de ensayo, con 15 y 20 minutos este residuo obtuvo una capacidad de adsorción de 3,2 y 3,3 g/g respectivamente. Para el RA se obtuvo una capacidad de adsorción de 6,7 g/g en 10 minutos de ensayo, con 15 minutos se obtuvo una capacidad de adsorción de 5,8 g/g; siendo este resultado ligeramente superior al obtenido en 20 minutos con 5,3 g/g. En el caso del RP los resultados indican que este material presentó una capacidad de adsorción de 13,1 g/g en 10 minutos, con 15 minutos se obtuvo una capacidad de adsorción de 14,8 g/g mientras que con 20 minutos se obtuvo una capacidad de adsorción de 14,6 g/g.

Para determinar la influencia de los factores tipo de residuo y tiempo en la capacidad de adsorción de diésel se realizó el análisis ANOVA cuyos resultados se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. *Análisis de varianza de la capacidad de adsorción de diésel para los factores tipo de residuo y tiempo.*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de residuo	596,329	2	298,17	27060,84	<0,0001	3,55
Tiempo	0,867	2	0,43	39,35	<0,0001	3,55
Tipo de residuo*tiempo	7,736	4	1,93	175,53	<0,0001	2,93
Error	0,198	18	0,01			
Total	605,131	26				

El análisis ANOVA indica que el tipo de residuo, tiempo y la interacción entre ellos (Tipo de residuo*Tiempo) muestran un valor de significancia de ($p<0,05$) por lo tanto estos factores influyen significativamente en la capacidad de adsorción de diésel.

4.1.2.1. Influencia del tipo de residuo de diésel

Como el análisis ANOVA presentó significancia para el factor tipo de residuo, se procedió a realizar el test de Tukey que se muestra en la tabla 17. Con el cual se confirma la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio pues se muestran tres subconjuntos diferentes uno para cada tipo de residuo.

Tabla 17. *Test de Tukey para el factor tipo de residuo en la capacidad de adsorción de diésel.*

Tipo de residuo	N	Subconjunto		
		A	B	C
RC	9	3,09		
RA	9		5,94	
RP	9			14,17

Nota: Alfa = 0.05

4.1.2.2. Influencia del tiempo de diésel

Como el análisis ANOVA presento significancia para el factor tiempo, se procedió a realizar el test de Tukey que se muestra en la tabla 18. Con el cual se confirma la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio pues se muestran tres subconjuntos diferentes, uno para cada tiempo de 10 minutos, 20 minutos y 15 minutos.

Tabla 18. *Test de Tukey para el factor tiempo en la capacidad de adsorción de diésel.*

Tiempo	N	Subconjunto		
		A	B	C
10 minutos	9	7,51		
20 minutos	9		7,74	
15 minutos	9			7,95

Nota: Alfa = 0.05

4.1.1.3. Interacción tipo de residuo - tiempo de diésel

Como el análisis ANOVA presentó significancia en la interacción (tipo de residuo - tiempo), se procedió a realizar el test de Tukey que se muestra en la tabla 19; con el cual se confirma la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio.

Al mostrar significancia la interacción tipo de residuo - tiempo en la capacidad de adsorción de aceite residual, se procedió a realizar la gráfica de interacción que se muestra en la figura 13. Donde se puede observar que no existe un paralelismo entre las líneas mostradas, manifestando interacción.

Tabla 19. *Test de Tukey para la interacción tipo de residuo - tiempo en la capacidad de adsorción de diésel.*

Tipo de residuo	Tiempo	N	Medias	Subconjuntos						
RC	10 minutos	3	2,74	A						
RC	15 minutos	3	3,23		B					
RC	20 minutos	3	3,30		B					
RA	20 minutos	3	5,30			C				
RA	15 minutos	3	5,85				D			
RA	10 minutos	3	6,69					E		
RP	10 minutos	3	13,11						F	
RP	20 minutos	3	14,62							G
RP	15 minutos	3	14,78							G

Nota: Alfa = 0.05

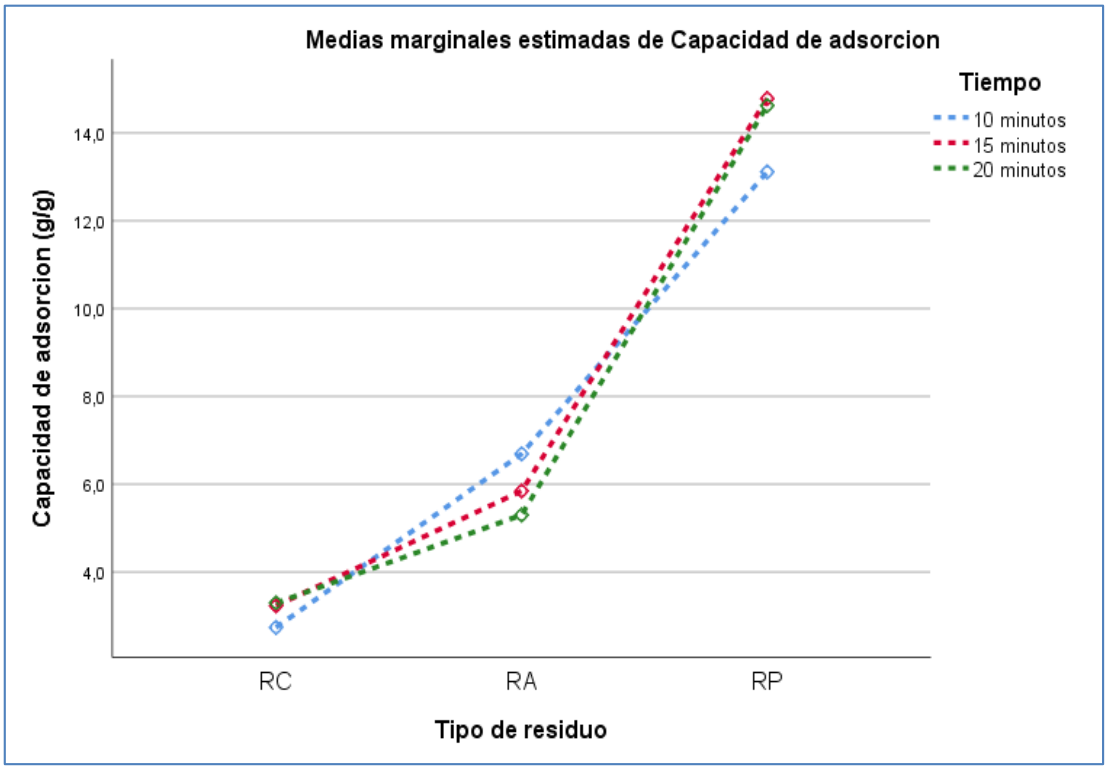


Figura 13. *Gráfico de la interacción entre los factores tipo de residuo-tiempo, en la capacidad de adsorción de diésel.*

4.3.1. Capacidad de adsorción en adsorbentes convencionales

En la tabla 20 se presentan los resultados de la capacidad de adsorción de aceite residual y diésel del AC1 y AC2, para tres tiempos de ensayo (10, 15 y 20 minutos); los resultados se expresan en gramos de aceite residual o diésel por gramo de adsorbente convencional (g/g).

Tabla 20. *Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de aceite residual y diésel del adsorbente convencional sintético y orgánico.*

	R1 g/g	**R2 g/g**	**R3 g/g**	**Promedio g/g**
Aceite Residual				
T19: $AC1_{10}$	11,45	11,20	11,23	**11,3**
T20: $AC1_{15}$	12,98	12,98	12,90	**13,0**
T21: $AC1_{20}$	13,27	13,25	13,28	**13,3**
T22: $AC2_{10}$	9,56	9,67	9,47	**9,6**
T23: $AC2_{15}$	9,64	9,68	9,28	**9,5**
T24: $AC2_{20}$	9,38	9,28	9,22	**9,3**
Diésel				
T25: $AC1_{10}$	10,51	10,71	10,51	**10,6**
T26: $AC1_{15}$	11,43	11,27	11,54	**11,4**
T27: $AC1_{20}$	12,23	12,08	12,43	**12,2**
T28: $AC2_{10}$	9,95	9,34	9,46	**9,4**
T29: $AC2_{15}$	9,36	9,30	9,06	**9,2**
T30: $AC2_{20}$	9,14	8,98	9,04	**9,1**

Dónde: AC1: adsorbente convencional sintético, AC2: adsorbente convencional orgánico
Nota: R repeticiones por tratamiento

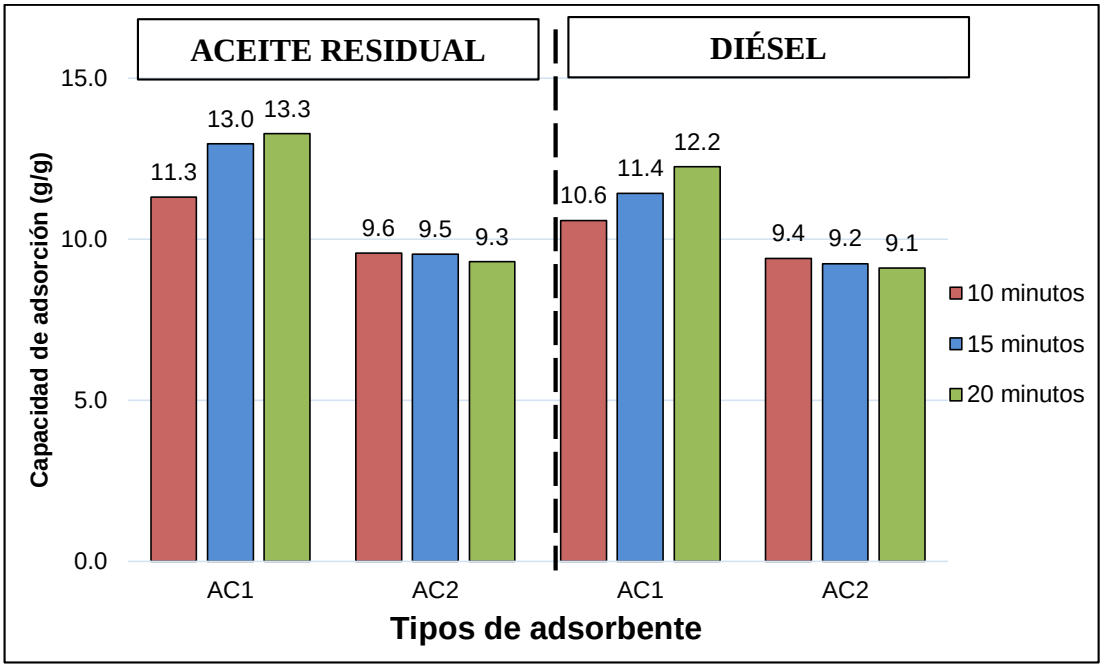


Figura 14. *Capacidad de adsorción de aceite residual y diésel del AC1 y AC2.*

Como se puede observar en la figura 14, el AC1 presentó una capacidad de adsorción de aceite residual de 11,3 g/g; 13 g/g y 13,3 g/g para 10, 15 y 20 minutos de ensayo respectivamente, para el caso del diésel este adsorbente convencional presentó resultados de 10,6 g/g para 10 minutos; 11,4 g/g para tiempo de 15 minuto y 12,2 g/g para tiempo de ensayo de 20 minutos. Por otro lado, el AC2 presentó una capacidad de adsorción de aceite residual de 9,6 g/g para un tiempo de 10 minutos; con tiempo de ensayo de 15 y 20 minutos este material presentó resultados de 9,5 g/g y 9,3 g/g respectivamente. Para el hidrocarburo diésel este adsorbente convencional presentó en 10 minutos una capacidad de adsorción de 9,4 g/g; para tiempo de 15 y 20 minutos presentó una capacidad de adsorción de 9,2 g/g y 9,1 g/g respectivamente.

4.1.3.1. Comparación con los adsorbentes convencionales frente al RC, RA y RP.

Para realizar la comparación con los adsorbentes convencionales se tomó los resultados más óptimos del RC, RA y RP obtenidos en los ensayos anteriores, para cada tipo de hidrocarburo. Si bien es cierto que los adsorbentes convencionales no fueron objeto de estudio en esta investigación, para un mejor entendimiento del tema se detallará brevemente todas las observaciones obtenidas para estos materiales.

En la tabla 21 se presentan los resultados óptimos de la capacidad de adsorción de aceite residual del RC, RA y RP, AC1 y AC2, los resultados se expresan en gramos de aceite residual por gramo de adsorbente (g/g).

Tabla 21. *Resultados óptimos de capacidad de adsorción de aceite residual del RC, RA y RP frente al AC1 y AC2.*

	R1 g/g	**R2 g/g**	**R3 g/g**	**Promedio g/g**
T3: $RC_{20minutos}$	4,85	4,49	4,63	**4,7**
T5: $RA_{15minutos}$	9,70	9,46	9,59	**9,6**
T7: $RP_{10minutos}$	21,68	21,23	21,64	**21,5**
T21: $AC1_{20minutos}$	13,27	13,25	13,28	**13,3**
T22: $AC2_{10minutos}$	9,56	9,67	9,47	**9,6**

Dónde: RC: cascarilla de arroz, RA: aserrín, RP: pluma de pollo, AC1: adsorbente convencional sintético, AC2: adsorbente convencional orgánico.

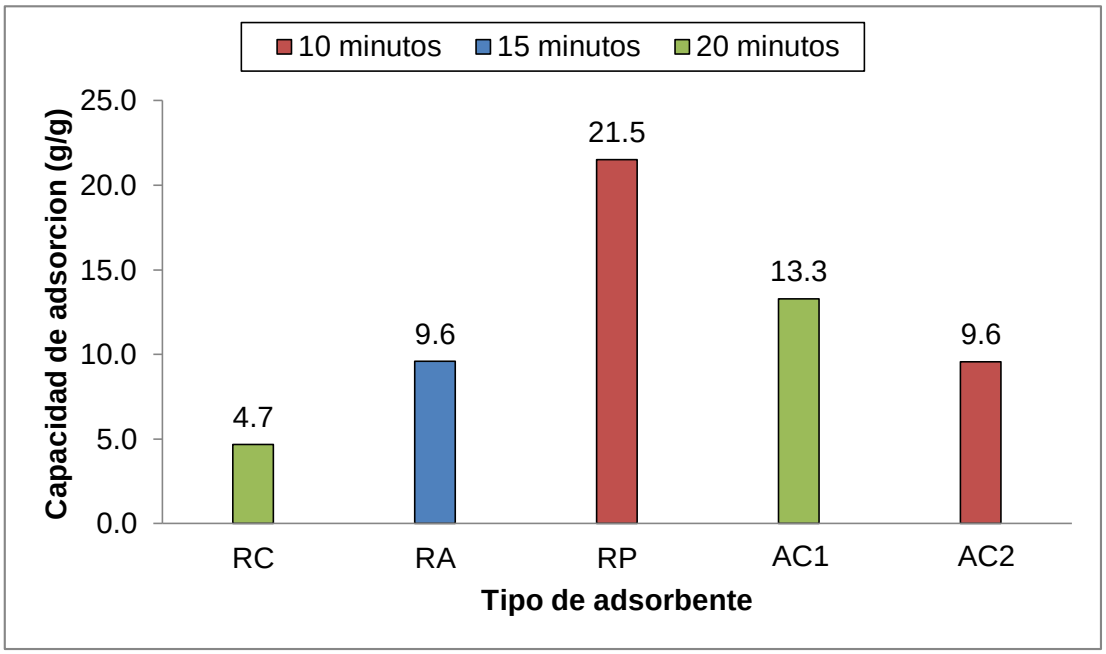


Figura 15. *Resultados de capacidad de adsorción del RC, RA y RP frente al AC1 y AC2 de aceite residual.*

En la tabla 22 se presentan los resultados óptimos de la capacidad de adsorción de diésel del RC, RA y RP, AC1 y AC2, los resultados se expresan en gramos de diésel por gramo de adsorbente (g/g).

Tabla 22. *Resultados óptimos de capacidad de adsorción de diésel del RC, RA y RP frente al AC1 y AC2.*

	R1 g/g	R2 g/g	R3 g/g	Promedio g/g
T12: $RC_{20minutos}$	3,25	3,24	3,40	**3,3**
T13: $RA_{10minutos}$	6,67	6,53	6,86	**6,7**
T17: $RP_{15minutos}$	14,89	14,62	14,84	**14,8**
T27: $AC1_{20minutos}$	12,23	12,08	12,43	**12,2**
T28: $AC2_{10minutos}$	9,95	9,34	9,46	**9,4**

Dónde: RC: cascarilla de arroz, RA: aserrín, RP: pluma de pollo, AC1: Adsorbente convencional sintético, AC2: adsorbente convencional orgánico.

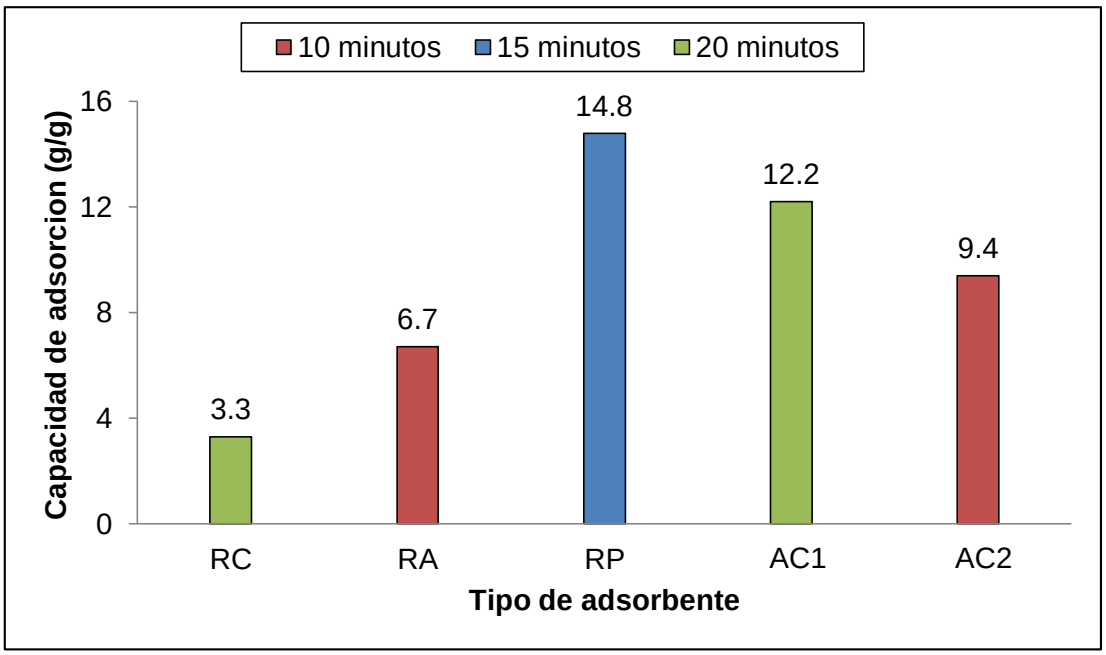


Figura 16. *Resultados de capacidad de adsorción de diésel del RC, RA y RP frente al AC1 y AC2.*

Las figuras 15 y 16 nos indican que el RC obtuvo capacidades de adsorción inferiores que el AC1 y AC2, con una relación de 4,7:1 para el caso del aceite residual y de 3,3:1 para el caso del diésel.

El RA presentó una diferencia de 3,7 g/g en la capacidad de adsorción de aceite residual y de 5,5 g/g para el caso del diésel frente a los resultados óptimos obtenidos por el AC1, necesitando un menor tiempo. Comparado con el AC2, este residuo obtuvo equivalente capacidad de adsorción para el caso del aceite

residual (9,6 g/g) con la ventaja de saturarse cinco minutos antes con este hidrocarburo y una diferencia de 2,7 g/g para el caso del diésel.

En cuanto al RP, este residuo fue superior con 21,5 g/g frente a los 13,3 g/g y 9,6 g/g que presentaron el AC1 y AC2 para el aceite residual, añadiendo la ventaja del menor tiempo que necesitó el RP al igual que el AC2 frente a mayor tiempo que necesitó el AC1 para saturarse con este hidrocarburo. Similar comportamiento se observó para el caso del diésel con 14,8 g/g para el RP frente al AC1 con 12,2 g/g y al AC2 con 10,3 g/g.

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Tipo de residuo RC, Ra y RP

Al relacionarse el fenómeno de adsorción física con la superficie del adsorbente, el mecanismo por la que el RC adsorbió hidrocarburos se encuentra relacionada a las superficies ásperas (pliegues y relieves) que este residuo presentó, sin embargo, dicha característica superficial fue consistente, dura y compacta, presentando en consecuencia poca oleoficidad para la adsorción de aceite residual y diésel.

Estudios realizados por Rechendorf K. (2006) indica que una morfología superficial rugosa afecta la capacidad de adsorción y en muchos casos se espera un incremento de la capacidad de adsorción en comparación con un adsorbente que presenta superficies planas. Por otra parte, Kudaybergenov et al. (2013) señalan que las cascarillas de arroz son compactas, lo que se traduce en una poca disposición de poros en su superficie mostrando poca oleoficidad. Pues en contraste, los materiales adsorbentes con poros finos muestran buenas características de retención de hidrocarburos (ITOPF, 2012).

En la figura 17 se observa que el RC presentó un mayor tamaño entre los residuos estudiados, presentando por lo tanto una menor cantidad de superficies para la adsorción de aceite residual y diésel. Pues los adsorbentes con un tamaño pequeño muestran una mayor eficiencia de eliminación de aceite ya que contienen mayores áreas de superficie disponible para la adsorción de aceites (Ibrahim et al. 2009).



Figura 17. *De izquierda a derecha, tamaños comparados del RC, RA y RP.*

En el caso del RA, este material presentó una estructura particulada y combinadas de dos tamaños que se empleó en la presente investigación (2 mm y 7,1 µm), esta forma típica de los residuos del aserrado de madera, permitió al RA disponer de una gran cantidad de áreas superficiales disponible para la adsorción de aceite residual y diésel, sin embargo, su manipulación y manejo durante los experimentos de este adsorbente resultó trabajosa. Así mismo se observó que el RA presentó una superficie irregular y rugosa con los consecuentes beneficios que estas características aportan para la adsorción física de aceite residual y diésel.

Behnood et al. (2013) señalan que los adsorbentes particulados son homogéneos y el número de partículas para la adsorción de hidrocarburos aumenta considerablemente. Ismail S. (2015) describe que el aserrín fino tiene mayor capacidad de adsorción que otros más gruesos debido al aumento de superficie. Es relevante mencionar las observaciones realizadas por Al-Jammal y Juzsakova (2016) quienes describen que los materiales sueltos y pequeños son polvorientos, difíciles de aplicar en condiciones de viento y potencialmente peligrosos si se inhalan.

Para el caso del RP y como se observa en la figura 18, este residuo presentó una estructura compuesta por tres unidades distintas: el eje central de la pluma (raquis) el cual es hueco y sirve de soporte a la pluma; el vexilo que nace a ambos lados del raquis siendo una estructura laminar compuesta por una

red de barbas perpendiculares y de las bárbulas que se unen entre sí por medio de ganchillos formando una especie de red tejida. Por lo tanto, la presencia de todas estas estructuras en el RP hizo que presentara un buen desempeño para adsorber aceite residual y diésel. Por otra parte, las estructuras más abundantes de las plumas de pollo (barbas y bárbulas) exhibieron un tamaño pequeño y formaron una especie de láminas, disponiendo por lo tanto de una mayor superficie para la adsorción física de aceite residual y diésel.

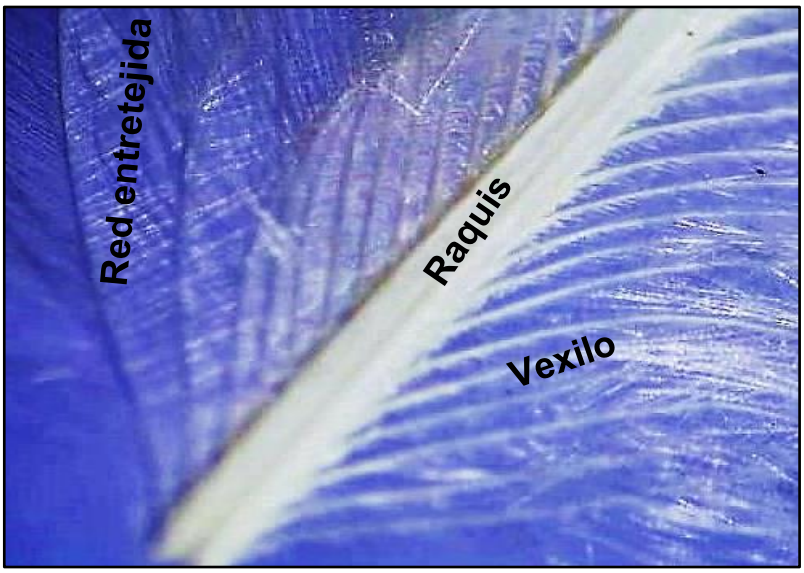


Figura 18. *Estructura del RP*

Investigaciones realizadas por Tesfaye et al. (2018) indican que las estructuras de las plumas (raquis y vexilo) son indicadores de grandes superficies activas para la adsorción de aceite residual e hidrocarburos. ITOPF (2012) menciona que los adsorbentes que presentan forma de láminas poseen un área superficial externa relativa mayor y por lo tanto presentan mayor tasa de adsorción.

Si bien es cierto que lo ideal sería reducir los residuos evaluados a menores tamaños, este acondicionamiento se recomendaría para incrementar el área superficial del RC, no así para el RA; pues este adsorbente ya presenta fracciones muy pequeñas. Para el RP no sería necesario reducir en tamaño de este material debido al buen rendimiento que presentó. Huang y Lim (2006) señalan que la capacidad de adsorción se incrementa mediante la reducción del tamaño de las partículas. Sin embargo, los adsorbentes pequeños presenta una difícil recolección de la mezcla de aceites e hidrocarburos - adsorbente, que su

uso se vea restringido por el viento y su gran dificultad de manipulación a comparación con adsorbentes de mayor tamaño (ITOPF, 2012). Para el caso del RP estudios realizados por Tesfaye et al. (2018) indican que las plumas de pollo enteras son más efectivas en la eliminación de aceite en comparación con plumas fraccionadas; por lo tanto, este autor no recomienda reducir el tamaño de las plumas de pollo.

Es importante señalar que los aceites residuales y diésel ejercieron la función de agente cohesivo que mantuvo a los adsorbentes adheridos entre sí y formando una masa oleosa resistente al movimiento en relación: RP > RA > RC y con mayor consistencia para el aceite residual, puesto que presentó una gravedad API de 23,8° siendo más pesado y viscoso que el diésel que presentó 36,2° API. ITOPF (2012) indica que los adsorbentes se basan en la adhesión de los aceites e hidrocarburos a la superficie del adsorbente, como en las propiedades cohesivas de los aceites e hidrocarburos.

4.2.2. Tiempo de adsorción en RC, RA y RP

El factor tiempo juega un papel importante en la capacidad de adsorción de aceite residual y diésel, pues este determina la velocidad a la que un adsorbente alcanza su capacidad máxima de adsorción, su mayor eficiencia y que se investigó para cada tipo de residuo. Además de que la retención en el tiempo y la cantidad de aceite adsorbido por unidad de adsorbente son factores importantes a observar (De Oliveira A. et al., 2016).

Con 10 minutos de ensayo se determinó que el RP y RA adsorbieron una mayor cantidad de aceite residual y diésel respectivamente, así mismo se observó que con mayores tiempos de adsorción estos residuos no obtuvieron mejores resultados, presentando al contrario una tendencia decreciente (desorción). ITOPF (2012) menciona que los adsorbentes se saturan de aceite e hidrocarburos con rapidez y que una vez saturados no pueden recolectar más aceites e hidrocarburos. En cuanto al RC en 10 minutos no encontró su punto máximo de capacidad de adsorción para aceite residual y diésel. Tesfaye et al. (2018) determinaron que el proceso de adsorción de aceite de las plumas de pollo se da en 10 minutos. Así mismo Ismail S. (2015) encontró un tiempo de 05 minutos para saturar las muestras de residuos de aserrín que ensayó.

Para 15 minutos, el RA logró una mayor capacidad de adsorción de aceite residual, mientras que el RP obtuvo su mejor resultado en este rango de tiempo para la adsorción de diésel, bajo estas mismas condiciones el RC siguió mostrando una menor tasa de capacidad de adsorción para ambos aceite residual y diésel pues 15 minutos no fueron suficientes para cubrir las superficies que presentó este residuo para adsorber. Salinas P. (2010) indica que 15 minutos es un tiempo ideal para el contacto entre las plumas y diésel pues en caso de derrames de aceites residuales e hidrocarburos es recomendable usar rápidamente el material adsorbente. Martínez M. (2013) agrega que 15 minutos son suficientes para evitar el daño a la flora y fauna del sitio afectado por derrames, para el caso del autor, petróleo crudo.

Para 20 minutos quien presentó una mayor capacidad de adsorción para aceite residual y diésel fue el RC, sin embargo, el RA y RP en este rango de tiempo presentaron sus capacidades de adsorción más bajas. Esto nos lleva a pensar que el RC mostraría mejores resultados con tiempo superiores a 20 minutos. Wahi et al. (2013) indica que el aumento en el tiempo de contacto da como resultado una mayor interacción aceite-adsorbente, lo que aumenta la eficiencia en la remoción de aceites e hidrocarburos. Kudaybergenov et al., (2015) determinaron que 25 minutos es un tiempo óptimo para adsorber petróleo usando cascarillas de arroz como adsorbente, por lo que sería recomendable prolongar el tiempo de adsorción para encontrar la capacidad máxima de aceite residual y diésel del RC.

El tiempo donde cada residuo encontró su mejor desempeño y por ende el punto donde tienen que ser retirados para evitar la pérdida del aceite residual y diésel adsorbido es corto y eficiente. En el campo de consideración económica tiempos prolongados de adsorción no son prácticos o adecuados (Abdelwahab E., 2013). Además, la demora para tratar un derrame de aceite e hidrocarburo hace que esta sustancia se extienda en un área muy grande, además de sufrir procesos como la intemperización, dispersión o emulsificación que vuelven al aceite residual e hidrocarburo más tóxico al medioambiente (Wei et al., 2003). Por lo que la remoción de aceites residuales e hidrocarburos debe realizarse de manera rápida para minimizar daños ambientales, requiriendo por lo tanto una

respuesta inmediata para evitar el daño a la flora y fauna del sitio afectado (USEPA, 1999 y Martínez M., 2013).

4.2.3. Frente a los adsorbentes convencionales

En general los adsorbentes sintéticos proporcionan una mayor eficacia en la adsorción de aceite residual y diésel presentando una relación entre peso de aceite residual y diésel, y adsorbente de 40:1 en comparación con los productos orgánicos con una relación de 10:1 y de tan solo 2:1 para materiales inorgánicos (ITOPF, 2012). Así mismo Wahi et al (2013) menciona que los adsorbentes orgánicos pueden absorber aceite de 4 a 20 veces su peso.

El RC obtuvo capacidades de adsorción inferiores que el AC1 y AC2, así mismo este residuo presenta resultados debajo de las capacidades de adsorción de materiales orgánicos propuesto por ITOPF (2012) y dentro de las capacidad de adsorción indicada por Wahi et al. (2013), además de obtener un resultado ligeramente superior a los obtenido por Ali et al. (2012) con capacidades de adsorción máximas de 2,6 g/g para diésel y 2,9 g/g para petróleo crudo empleando cascarilla de arroz virgen como adsorbente.

El RA se encuentra debajo del rango para adsorbentes orgánicos propuestos por ITOPF (2012) y dentro del rango indicado por Wahi et al. (2013). Con estos se demuestra lo competitivo que son los adsorbentes elaborados a partir de residuos de aserrín; una observación relevante es que el RA y AC1 presentaron una morfología similar por lo que ambos adsorbentes mostraron gran cantidad de áreas superficiales y mecanismos de adsorción similares, reflejándose esto en los resultados.

El RP es superior al rango para adsorbentes orgánicos indicado por ITOPF (2012) y se encuentra dentro del rango indicado por Wahi et al. (2013). Investigaciones realizadas por Salazar (2012) empleando plumas determino una capacidad de adsorción superior de 34,6 g/g para petróleo crudo e inferiores de 12,6 g/g para aceite diésel, así mismo Echavarría G. (2013) encontró un resultado de 36,7 g/g de hidrocarburo para adsorbentes elaborados a partir de este residuo, aunque este estudio no especifica el tipo de hidrocarburo que

empleo, por lo tanto, las plumas de pollo es un material potencialmente eficiente y aprovechable como adsorbentes de aceites residuales e hidrocarburos.

Como era de esperar el adsorbente convencional sintético y el adsorbente convencional orgánico presentaron resultados eficientes pues están diseñados específicamente para adsorber aceite residual y diésel. Sin embargo, el RP mostró un mayor resultado entre todos los adsorbentes ensayados, pero hasta donde se sabe, las plumas de pollo no existen en el mercado como adsorbente disponibles para su utilización en derrames de petróleo, aceites e hidrocarburos. Si bien el RA y RC fueron menos competitivos que el AC1 y AC2, la gran ventaja de los materiales orgánicos es que resultan atractivos ya que con frecuencia son abundantes en la naturaleza o se obtienen como subproducto residual de un proceso industrial y su adquisición puede realizarse de forma rápida y económica. Apreciación acorde a nuestra realidad, en la zona geográfica donde se realizó esta investigación los residuos evaluados son generados en gran cantidad y se encuentran cerca de las zonas de extracción y transporte de aceites e hidrocarburos así también a los lugares donde actualmente suceden los accidentes de derrames de petróleo a nivel nacional. ITOPF (2012) menciona que los materiales orgánicos son generalmente de bajo precio y al estar disponibles localmente podrían representar una opción más rentable que los adsorbentes sintéticos a pesar de su menor eficiencia de recolección para el mismo peso de material adsorbente.

Por lo que el uso de residuos de la localidad donde se producen los derrames de petróleo son una buena opción ya que pueden ser utilizados inmediatamente por las comunidades del lugar, además que el material adsorbente a ser estudiado debe ser abundante ya que con esto se puede reducir o eliminar por completo la carga contaminante de un efluente, haciendo que sea inofensivo al ambiente (Martínez M., 2013).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se ha encontrado que la capacidad de adsorción de aceite residual es mayor con pluma de pollo con 21,5 g aceite residual/g pluma de pollo y menor capacidad de adsorción con cascarilla de arroz con 4,7 g aceite residual/g cascarilla de arroz; y en diésel es mayor con pluma de pollo con 14,8 g diésel/g pluma de pollo y menor capacidad de adsorción con cascarilla de arroz con 3,3 g diésel/g cascarilla de arroz.

- La capacidad de adsorción de aceite residual y diésel está relacionada directamente con las características estructurales que presentó cada tipo de residuo.

- La mayor capacidad de adsorción de aceite residual se obtuvo con los residuos orgánicos en 10 minutos con plumas de pollo, 15 minutos con aserrín y 20 minutos con cascarilla de arroz.

- La mayor capacidad de adsorción de diésel se obtuvo con los residuos orgánicos en 15 minutos con plumas de pollo, 10 minutos con aserrín y 20 minutos con cascarilla de arroz.

- Los mejores resultados en la capacidad de adsorción en aceite residual frente a los adsorbentes convencionales fueron: pluma de pollo (21,5 g/g) > adsorbente convencional sintético (13,3 g/g) > adsorbente convencional orgánico (9,6 g/g) ≥ aserrín (9,6 g/g) > cascarilla de arroz (4,7 g/g).

- Los mejores resultados en la capacidad de adsorción en diésel frente a los adsorbentes convencionales fueron: pluma de pollo (14,8 g/g) > adsorbente convencional sintético (12,2 g/g) > adsorbente convencional orgánico (9,4 g/g) > aserrín (6,7 g/g) > cascarilla de arroz (3,3 g/g).

5.2. Recomendaciones

- Evaluar los residuos estudiados en otros tipos de aceites, hidrocarburos, y petróleos, así como otros tiempos de adsorción.

- Promover la investigación sobre la reutilización de otros residuos que se generan localmente (bagazo de caña, fibra de palma aceitera, cáscara de coco, etc.) como adsorbentes de aceite residual y diésel.

- Investigar métodos alternativos para mejorar la capacidad de adsorción de la cascarilla de arroz.

- Realizar un estudio de la viabilidad económica del uso de las plumas de pollo y aserrín como adsorbente de aceite residual y diésel.

- Se recomienda que el gobierno regional implemente un programa de capacitación sobre los beneficios que involucra el uso de adsorbentes de aceite residual e hidrocarburos a base de residuos tanto a empresas públicas y privadas relacionadas a la transformación de materia prima, y a las empresas involucradas con el sector petrolero.

BIBLIOGRAFÍA

Abanto Q., Taboada R. (2018). Uso de la fibra de coco para la adsorción de diferentes muestras de hidrocarburos - agua y su relación con la salinidad y temperatura. Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo. Pág.: 09.

Abdelwahab, E. Emam (2013). Modified activated carbon and bentonite used to adsorb petroleum hydrocarbons emulsified in aqueous solution. American Journal of Environmental Protection. Vol. 2, No. 6, 2013, pp. 161-169.

Abdullah, M. A., Rahmah, U. and Man, Z. (2010). Physicochemical and sorption characteristics of Malaysian Ceiba pentandra (L.) Gaertn as a natural oil sorbent. Journal of hazardous materials, 177(1-3): 683-691.

Aguayo -Villareal, I.A. Bonilla-Petriciolet, A. Hernández-Montoya, V. Montes-Morán, M.A. Reynel-Ávila, H.E. (2011). Batch and column studies of Zn2+ removal from aqueous solution using chicken feathers as sorbents. Chemical Engineering Journal 167, 67-76.

Aksu, Z. (2005). Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. Process Biochemistry. 40, 997–1026. 41.

Ali, M., Eliyas, H. Al-Sarawi, S. S. Radwan (2011). Hydrocarbon-utilizing microorganisms naturally associated with sawdust. Chemosphere; 2011; Vol 83: 1268–1272.

Ali N., El-Harbawi M., Jabal A. A., and Yin Y. C. (2012). “Characteristics and oil sorption effectiveness of kapok fibre, sugarcane bagasse and rice husks: Oil removal suitability matrix,” Environ. Technol., vol. 33, no. 4, pp. 481–486.

Al-Jammal N., Juzsakova T. (2016). Review on the effectiveness of adsorbent materials in oil spills clean up. University of Pannonia / Institute of Environmental Engineering, Veszprém, Hungary. 7th International Conference of ICEEE, 17-19 of November 2016, Budapest, Hungary. Pag. 134.

Alonso, M., Ramírez, C. y Rigal, L. (2012). Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 18(3): 449-457.

Alonso, R. R. (2012). Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Ingeniería Técnica Industrial, Especialidad Química Industrial. Universidad autónoma de Barcelona. Pag. 11.

Alzate, M., Jiménez, C. y Londoño, J. (2011). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas. Producción más limpia. 6(1): 108-127.

Amaringo, F. y Hormaza, A. (2018). Adsorción de rojo 40 sobre cascarilla de arroz: determinación del equilibrio, cinética y termodinámica. Revista Tecnura, 22(56), 13-28.

Amico, S. C. (2010). Vegetable fibers as multifunctional materials. Matéria (Rio de Janeiro). Brasil. 15(2): 355-363.

Angeles, M. O. (2018). Situación actual de la contaminación por actividades de hidrocarburos en la selva peruana. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria de la Molina. Perú. pag. 27

Armas, A. C. (2016). Efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico. Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo. Universidad Señor de Sipan. Pag. 64. Asadpour R., Bin N. S., Zahir Z. T., Hisyam Jusoh H.H., Ali Riahi A., Orji Kalu O. U. (2013). Application of Sorbent materials in Oil Spill management: A review. Caspian Journal of Applied Sciences Research, 2(2), pp. 46-58, 2013

ASTM (2012). Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents, Designation: F 726-12. Recuperado y consultado el 18 de Octubre de 2018, de https://www.astm.org/Standards/E2235.html.

Bamforth, S., & Singleton, I. (2005). Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 80, 723-736.

Barragán, B., Téllez, Y., Laguna, A. (2008). Utilización de residuos agroindustriales. Revista Sistemas Ambientales. 2 (1): 44-50.

Behnood, R., Anvaripour, B., Jaafarzade, H. N., Fard and Farasati, M. (2013). Application of Natural Sorbents in Crude Oil Adsorption. Department of Safety and Protection Engineering, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran.

Benjumea, N. (2017). Determinación de la gravedad API y la gravedad específica de los petróleos crudos y derivados del petróleo (método del termohidrómetro. Consultado el 31 de julio del 2019 de https://www.academia.edu/24886169/

Bottani, E., Odetti, H., Pliego, O., y Villarreal, E., (2006). Química general. Argentina: Universidad Nacional Del Litoral.

Bravo, E., (2007). Acción Ecológica. Los Impactos de la Explotación Petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. Mayo, 2007 Pág. 18-19.

Bustamante, A., (2007). “Hidrocarburos disueltos en la sonda de Campeche”. Tesis para obtener el título académico de ingeniero químico; Facultad de Química, Biológicas; Facultad de Ciencias; UNAM; págs. 6-10. México.

Cárdenas, M. L. G. (2017). Estudio de la capacidad de adsorción de materiales orgánicos para la remoción de aceites y combustibles presentes en aguas. Colegio de Ciencias e Ingenierías. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador. Pág. 15-25.

Castillo, V. A. (2017). Adsorbentes naturales en la mitigación del impacto adverso causado por derrames de crudo en fuentes hídricas. Departamento de Ingeniería Ambiental. Universidad Libre Colombia. Colombia. Pag. 27.

CC.OO. (2006). Guía para la gestión de aceites usados. Comisiones Obreras de Navarra. Gabinete de Salud Laboral y medio Ambiente. Gobierno de Navarra. España

Chur, P. G. (2010). Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Pag 9.

Concepción, R. R. F., Chonillo, R. A., Lorenzo, A. F. y Morales, S. C. (2016). Determinación de las potencialidades de aserrín en la ciudad de Guayaquil como materia prima para la producción de diversos surtidos en la industria forestal. Ecuador. HOLOS, Año 32, Vol. 4.

Coria, D. I. (2007). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Universidad Abierta Interamericana. Pag. 4.

De Oliveira, A. F., Gomes, G. J., De Oliveira, L.C and Alcides, L. L. (2006). The performance of curauá fiber as sorbent of the diesel and biodiesel oils. Maringá, v. 38, n. 3, p. 295-300.

Diario El Correo (2017). Amazonas: Denuncian nuevo derrame de petróleo en oleoducto norperuano. Consultado el 15 de agosto del 2019 en https://diariocorreo.pe/peru/amazonas-denuncian-nuevo-derrame-petroledo-oleoducto-norperuano-903837/.

Echavarría, G. H. (2013). Remoción de hidrocarburos por medio de proteínas en medio acuoso. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana. México. Pag. 5

Ecured (2019). Celulosa. Consultado el 12 de Julio del 2019 de: https://www.ecured.cu/Celulosa

Ecured (2019). Lignina. Consultado el 12 de Julio del 2019 de: https://www.ecured.cu/Lignina

Escalante, María; Santos, Iris; Rojas, Luis B.; Lárez Velásquez, Cristóbal. (2012). Aprovechamiento de desechos orgánicos: 1. Extracción y caracterización del aceite de semillas de naranja colectadas en expendios ambulantes de jugos. Avances en Química, vol. 7, núm. 3, 181-186.

Fomina, M., Gadd G. M. (2014). Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. Bioresource Technology. 160, 3-14.

Garcés, J. L. y Coavas, R. S. (2012). Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (vi) en aguas residuales. Universidad de Cartagena. Facultad de Ingenierías Programa de Ingeniería Química. Cartagena de Indias. Pag. 26.

Gobierno de Canarias (2005). Consejería de medio ambiente y ordenamiento territorial. Manuales operativos documento nº 6. Uso de absorbentes. Pag 18.

Gómez, F., Trejo, L., Velasco, J., y Lara, L. (2016). Herramientas moleculares para estudios ambientales de actividades agroindustriales. Agroproductividad. 9 (8): 3-9.

Google earth (2019). Consultado el 27 de Julio del 2019 de: https://www.google.com/intl/es/earth/.

Guevara, M. (1995). Caracterización y evaluación de la cascarilla de arroz como combustible. Colombia-Bogotá.

Hernández, A., Real N., Delgado, M., Bautista, L. y Velasco, J. (2016). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. Agroproductividad, 9(8):10-17. • Instituto de Investigación Porcina y FAO. 1994. Tratamiento y utilización de residuos de origen animal, pesquero y alimentación en la alimentación animal. Trabajo presentado en taller regional para el estudio FAO Producción y Sanidad Animal, La Habana.

Huang, X. y Lim, T. (2006). Rendimiento y mecanismo de un filtro kapok hidrofóbico-oleofílico para la separación aceite / agua Desalination 190 (1-3), 295-307.

Húmpola, P. D. (2013). Estudio de la adsorción de compuestos biorrefractarios en soluciones acuosas. Tesis para la obtención del Grado Académico de Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral. Argentina. Pag. 11.

Hussein, M.; Amer, A. y Sawsan, I., (2008). Oil spill sorption using carbonized pith bagasse: Preparation and characterization of carbonized pith bagasse. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 82 (2): 205 - 211.

Ibrahim, S., Ang H., Wang, S. (2009). Removal of emulsified food and mineral oils from wastewater using surfactant modified barley straw, Bioresour. Technol. 100 (23) (2009) 5744–5749.

Ikenyiri and Ukpaka, J. (2016) Overview on the Effect of particle size on the performance of wood based adsorbent chem eng process technol. 2016, 7:5

ILCE (2012). Plumas y plumajes. Instituto Latinoamericano de la Comunidad educativa. Biblioteca Digital. Consultado el 9 de marzo de 2017, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites.

INEI (2019). Informe técnico: Perú, Panorama Económico Departamental. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Pag 2 y 3.

IPES (2005). Guía Técnica. Gestión Ambiental de Aceites Usados. Instituto de Promoción de la Economía Social. USAID. CONAM. Lima. Perú.

Ismail S. Amr (2015). Preparation and Evaluation of Fatty-Sawdust as a Natural Biopolymer for Oil Spill Sorption. Egyptian Petroleum Research Institute. Egypt. Pag.81, 82, 83.

ITOPF (2012). The international tanker owner's pollution federation limited. Use of sorbent materials in oil spill response. Technical information document Number 3, 4, 5, 8. Londres, Inglaterra.

Kelle, H. I.; Eboatu, A. N. (2018). Determination of the Viability of Chicken Feather as Oil Spill Clean-Up Sorbent for Crude Oil and its Lower Fractions. Department of Pure and Applied Sciences, National Open University of Nigeria, Abuja, Nigeria. Vol. 22 (2) 267 – 273. February 2018.

Knight, R., Borer, R., Clarke, J. And Pries, J. (2012). Constructed wetlands for treatment of hydrocarbons. Ecological Engineering, 15, pp. 41-55.

Kudaybergenov, K. K., Ongarbayev, E. K. and Mansurov, Z. A. (2013). Petroleum sorption by thermally treated rice husks derived from agricultural byproducts. Eurasian Chemico-Technological Journal 15. 57-66.

Kudaybergenov, K. K., Ongarbayev, E. K. and Mansurov, Z. A. (2015). Oil sorption by heat-treated rice husks. Journal of petroleum & environmental biotechnology pet environ biotechnol 6: 243.

Machuca, L. G. J (2015). Obtención de queratina a partir de plumas de pollo, utilizando queratinasas producidas por bacillus spp. Carrera de bioquímica y farmacia. Universidad Técnica de Machala. Ecuador. Pag. 6

Martín, C., González, A. y Blanco, M. (2004). "Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación"; Revista Iberoamericana de Micología. Vol. 21; págs. 103-120. España.

Martínez J., Mallo M., Lucas R., Álvarez J., Salaverry A. y Gristo P. (2005). Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. Fichas Temáticas. Tomo I. Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América latina y el Caribe. Montevideo. Uruguay.

Martínez, M., (2013). Remediación de agua contaminada con petróleo utilizando Pennisetum clandestinum como bioadsorbente. Facultad De Ciencias Químicas. Universidad Central Del Ecuador. Quito-Ecuador. pág. 67.

Menna (2018). Diésel características, propiedades y usos. Como funciona. Consultado el 24 de Julio del 2019 de https://comofunciona.co/el-diesel/

MINCETUR (2018). Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Reporte de Comercio Regional Ucayali – 2018. Pag 1.

Muñoz, D., Cuatin, M. y Pantoja, A. (2013). Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca, a partir del poder calorífico inferior. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 11(2): 56 -163.

Murillo, E., Sánchez, W. y Méndez, J. (2010). Potencial antioxidante de residuos agroindustriales de tres frutas de alto consumo en el Tolima. Scientia et Technica, 17(46):138-143.

Navarro, W. (2014). Estado situacional del manejo del aceite lubricante usado en la ciudad de Ayacucho y propuesta de disposición final (Tesis de Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú. Pag. 12-14.

Nomack, M. y Cleveland, C. (2010). Oíl spill control technologies. Consultado el 13 de Febrero del 2019 de Encyclopedia of Earth, URL: http://www.eoearth.org/articles/view/158385/?topic=50366.

Olguín, E. J., Hernández, M. E., Sánchez-Galván G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de bioremediacion, fitoremediación y restauración. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 23, 139-154.

Ossa, H., E. A., Cano, M., F. Arango, M, J. Montoya, C. (2007). Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de fibras de vidrio y queratina. Scientia Et Technica 36, 407-412.

RAI (2019). Real academia de Ingeniera. Adsorbato. Consultado el 17 de Agosto del 2019 de http://diccionario.raing.es/es/lema/adsorbato.

Ramírez, S. 2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de arroz (Oriza sativa) y residuos de papa (Solanun tuberosun) para la producción de Trichoderma spp. (Trabajo de grado). Universidad técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

Rangabhashiyam, S., Anu, N., Giri-Nandagopal M. S., Selvaraju N. (2014). Relevance of isotherm models in biosorption of pollutants by agricultural byproducts. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2, 398-414.

Rechendorf, K. (2006). The influence of surface roughness on protein adsorption. PhD Thesis. University of Aarhus, Denmark. Pag 83.

Restrepo, A., Rodríguez, E., y Manjarrés, K. (2011). Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales. Producción más limpia. 6 (2): 47- 57.

Rivera, M. (2008). “Efecto del diesel sobre la germinación y crecimiento de semillas de alfalfa (Medicago sativa) y de rabanito (Raphanus sativus) utilizando suelos de uso industrial y agrícola”; Tesis para obtener el grado académico de maestra en ciencias; Posgrado en Ciencias Biológicas; Facultad de Ciencias; UNAM; págs. 21-31. México.

Romero, J., (2000). Libro-Purificación del agua. Tercera edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá - Colombia.

Rosas, D., Ortiz, H., Herrera, J., y Leyva, O. (2016). Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. Agroproductividad. 9 (8): 18-23.

Salazar, C. y Rodríguez, Q. (2017). Desarrollo y evaluación de un material adsorbente a partir de residuos orgánicos para la adsorción de Cu+2 en soluciones sintéticas. Universidad Nacional de San Agustin. Pag 60.

Salazar, H. E. (2012). Remoción de hidrocarburos mediante biopolímeros naturales: Efecto del tamaño de partícula. Universidad Autónoma De San Luis Potosí, Facultades De Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina, programas multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, San Luis Potosí- México. pág. 31, 37, 51.

Salinas, P., (2010). Producción de harina de plumas de pollo y su utilización como un adsorbente de hidrocarburos, en agua dulce. Escuela politécnica del ejército. Departamento de ciencias de la vida ingeniería en biotecnología, Sangolqui – Ecuador. pág.:86-90

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. Bio-Tecnología, 16(2): 14-16.

Schmidt W. F., Barone J. R. (2004). New uses for chicken feathers keratin fiber. Poultry Waste Management Symposium Proceedings. 99-101.

Seguí, I. (2007). Valorización de la raspo de uva como bioadsorbente para la eliminación de cobre y níquel de efluentes acuosos., Universidad Politécnica de Cataluña, pp. 1–91.

Segura A. H. (2017). Influencia del carbón activado obtenido de huarango (acacia macracantha) en la remoción de cloro libre residual en agua potable, Celendín. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú. pág. 33.

Shahriari, M., Savaghebi, F., Minaei, T., & Padidaran, M. (2006). The effect of mixed plants Alfalfa (Medicago sativa) and Fescue (Festuca arundinacea) on the phytoremediation of light crude oil in soil. Environ Scient, 4(13), 33-40.

Silos J., Rodríguez J. M. (2008). Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos. Universidad de Cádiz. Cádiz, España.

Souza, F. (1993). Cascarilla de arroz carbonizada: un sustrato para la propagación de plantas. CNPAI/EMBRAPA. Revista Lavoura Arrozeira V. 46 nº. 406 jan./fev. Brasil. Pag. 11.

Tabugbo, B. N., Duwilson, N. I., Usman, E. O. (2014). Preparation and characterization of sawdust (cellulose) as an adsorbent for oil pollution remediation. International Journal of Natural Sciences Research, Nigeria. Vol. 2, No. 6, pp. 97-102

Taty, Costodes, V. C., Fauduet, H., Porte, C. and Delacroix, A. (2003). Removal of Cd (II) and Pb (II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of Pinus sylvestris. Journal of Hazardous Materials; Vol. 105; 121-142.

Tello, F., (2009). Perú SAC. “Oferta de biomasa de arroz”. Investigación realizada en la provincia de Tarapoto, Región San Martín.

Terrado, M., Barceló, D., y Tauler, R. (2010). Multivariate curve resolution of organic pollution patterns in Ebro River surface water-groundwater-sediment-soils systems. Anal. Chim. Acta, 657, 19-27.

Tesfaye, T., Sithole, B, Ramjugernath, (2018). Valorisation of waste chicken feathers: green oil sorbent. Tansel Int J Chem Sci. 16(3):282.

Tran, V., Ngo, H. H., Guo, W., Zhang, J., Liang, S., Ton-That, C., Zhang, X. (2015). Typical low cost biosorbents for adsorptive removal of specific organic pollutants from water. Bioresource Technology. 182, 353-363

UPME (2001). Transformación de los aceites usados para su utilización como energéticos en procesos de combustión. Unidad de Planeación Minero-Energética. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. Bogotá: D.C.

USEPA (1999). U.S. Environmental protection agency. Understanding Oil Spills and Oil Spill Response.

Valverde, G. A., Sarria, B. L., Monteagudo, Y J. P. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. Scientia et Technica Año XIII, No 37 PAG. 256.

Vargas, J., Alvarado, P., Vega, J. y Porras, M. (2013). Caracterización del subproducto cascarilla de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. USAC. 12 – 16.

Villareal, G. M. (2011). Petróleo: Clasificación y Caracterización. Universidad Tecnológica Nacional – Argentina. Pag: 3.

Wahi Rafeah, Abdullah Chuah Luqman, Yaw Chong Thomas Shean, Ngaini Zainab, Mobarakeh Norouzi Mohsen, (2013). Separation and purification technology. La eliminación del aceite del estado acuoso por adsorbente natural fibroso: una visión general. Pag. 54.

Wei, Q. F., Mather R. R., Fotheringam, A. F., Yang R. D. (2003). Evaluation of nonwoven polypropylene oil sorbents in marine oil-spill recovery. Marine Pollution Bulletin 46, 780-786.

Wikipedia (2019). Gravedad API. Consultado el 25 de Julio del 2019 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad_API.

Wikipedia (2019). Viscosidad. Consultado el 14 de Agosto del 2019 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Viscosidad

Yepes, S., Montoya, L. y Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales –frutas– en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 61(1):4422-4431.

ANEXOS

Anexo 1 – Descripción de los materiales ensayados en la presente investigación

Tabla 23. *Descripción general de los materiales evaluados en la presente investigación.*

Nomenclatura	Aspecto	Composición principal	Color	Consideraciones de uso	Humedad (%)	Capacidad de adsorción máxima (g/g)	
						HC pesado	HC liviano
RC	Granulado	Celulosa, lignina, hemicelulosa	Amarillo	-	1,6	4,7	3,3
RA	Particulado	Celulosa, lignina, hemicelulosa	Marrón-rojizo	-	1,2	9,6	6,7
RP	Fibroso	Queratina, lípidos y agua	Blanco amarillento	-	2,1	21,5	12,2
AC1	Fibroso	Polipropileno (100 %)	Blanco	Petróleo crudo y aceites industriales	-	Hasta 20 veces su peso*	
AC2	Granulado	Desconocido	Marrón oscuro	Petróleos, aceites orgánicos de uso industrial marítimo y derivados petroquímicos	-	Hasta 12 veces su peso*	

Nota: *Todos los adsorbentes están clasificados como adsorbente tipo II según la metodología ASTMF-726; HC: Hidrocarburo*
**Según su ficha técnica.*

Anexo 2 – Resultado experimentales

Tabla 24. *Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de aceite residual del RC, RA y RP.*

Tipo de residuo	Tratamiento	Tiempo (min)	Peso (g)			Capacidad de adsorción (g/g)
			Po	Pf	Pf-Po	
RC	T1	10	4,00	21,15	17,14	4,28
			4,00	22,00	18,00	4,50
			4,00	20,59	16,59	4,15
	T2	15	4,00	21,13	17,12	4,28
			4,00	21,49	17,49	4,37
			4,00	20,88	16,88	4,22
	T3	20	4,00	23,42	19,42	4,85
			4,00	21,95	17,95	4,49
			4,00	22,52	18,52	4,63
RA	T4	10	4,00	40,90	36,89	9,22
			4,00	40,73	36,73	9,18
			4,00	40,56	36,56	9,14
	T5	15	4,00	42,80	38,80	9,70
			4,00	41,84	37,84	9,46
			4,00	42,37	38,37	9,59
	T6	20	4,00	40,90	36,89	9,22
			4,00	40,73	36,73	9,18
			4,00	39,06	35,06	8,76
RP	T7	10	4,00	90,80	86,80	21,68
			4,00	89,01	85,01	21,23
			4,00	90,68	86,68	21,64
	T8	15	4,00	86,39	82,39	20,60
			4,00	86,89	82,88	20,70
			4,00	85,91	81,91	20,47
	T9	20	4,00	81,93	77,93	19,47
			4,00	82,69	78,68	19,65
			4,00	81,86	77,86	19,46

Dónde: P_o: Peso inicial del residuo antes del ensayo, P_f: peso final del residuo después del ensayo.

Tabla 25. *Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de diésel del RC, RA y RP*

Tipo de residuo	Tratamiento	Tiempo (min)	Peso (g)			Capacidad de adsorción (g/g)
			Po	Pf	Pf - Po	
RC	T10	10	4,00	14,60	10,59	2,65
			4,00	14,93	10,93	2,73
			4,00	15,34	11,34	2,83
	T11	15	4,00	17,23	13,23	3,31
			4,00	16,80	12,80	3,20
			4,00	16,74	12,74	3,18
	T12	20	4,00	17,00	13,00	3,25
			4,00	16,95	12,95	3,24
			4,00	17,60	13,60	3,40
RA	T13	10	4,00	30,70	26,70	6,67
			4,00	30,14	26,14	6,53
			4,00	31,46	27,46	6,86
	T14	15	4,00	27,61	23,61	5,90
			4,00	27,00	23,00	5,75
			4,00	27,56	23,56	5,89
	T15	20	4,00	25,24	21,24	5,31
			4,00	25,13	21,12	5,28
			4,00	25,24	21,24	5,31
RP	T16	10	4,00	56,08	52,08	13,01
			4,00	56,64	52,63	13,14
			4,00	56,80	52,80	13,18
	T17	15	4,00	63,62	59,61	14,89
			4,00	62,53	58,52	14,62
			4,00	63,39	59,39	14,84
	T18	20	4,00	62,55	58,55	14,62
			4,00	63,05	59,04	14,74
			4,00	62,03	58,03	14,51

Dónde: P_o: Peso inicial del residuo antes del ensayo, P_f: peso final del residuo después del ensayo.

Tabla 26. *Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de aceite residual del AC1 y AC2.*

Tipo de adsorbente	Tratamiento	Tiempo (min)	Peso (g)			Capacidad de adsorción (g/g)
			Po	Pf	Po - Pf	
AC1	T19	10	4,00	49,79	45,79	11,45
			4,00	48,82	44,82	11,20
			4,00	48,92	44,92	11,23
	T20	15	4,00	55,93	51,93	12,98
			4,00	55,91	51,91	12,98
			4,00	55,58	51,58	12,90
	T21	20	4,00	57,08	53,08	13,27
			4,00	56,98	52,98	13,25
			4,00	57,15	53,15	13,28
AC2	T22	10	4,00	42,24	38,23	9,56
			4,00	42,68	38,68	9,67
			4,00	41,88	37,88	9,47
	T23	15	4,00	42,58	38,58	9,64
			4,00	42,72	38,72	9,68
			4,00	41,13	37,13	9,28
	T24	20	4,00	41,54	37,54	9,38
			4,00	41,12	37,12	9,28
			4,00	40,87	36,87	9,22

Dónde: P_o: Peso inicial antes del ensayo, P_f: peso final después del ensayo.

Tabla 27. *Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de diésel del AC1 y AC2.*

Tipo de adsorbente	Tratamiento	Tiempo (min)	Peso (g)			Capacidad de adsorción (g/g)
			Po	Pf	Pf - Po	
AC1	T25	10	4,00	46,04	42,04	10,51
			4,00	46,85	42,85	10,71
			4,00	46,05	42,05	10,51
	T26	15	4,00	49,75	45,75	11,43
			4,00	49,08	45,08	11,27
			4,00	50,20	46,19	11,54
	T27	20	4,00	52,91	48,91	12,23
			4,00	52,32	48,32	12,08
			4,00	53,71	49,71	12,43
AC2	T28	10	4,00	43,82	39,82	9,95
			4,00	41,38	37,38	9,34
			4,00	41,84	37,84	9,46
	T29	15	4,00	41,44	37,44	9,36
			4,00	41,20	37,20	9,30
			4,00	40,25	36,25	9,06
	T30	20	4,00	40,57	36,57	9,14
			4,00	39,91	35,91	8,98
			4,00	40,18	36,18	9,04

Dónde: P_o: Peso inicial antes del ensayo, P_f: peso final después del ensayo.

Anexo 3 - Ficha de recolección de datos

FICHA DE EVALUACION DE BIOADSORCION

Método: ASTM F726 – Absorbente tipo II

Tipo de hidrocarburo:_____ Cantidad (g): 04 g

Fecha:_____ Material:_____

Tiempo de Ensayo	Tratamiento	Peso inicial del recipiente (g)	Hora		Po	Pf	Peso final recipiente (g)
			Inicio	Final			
10							
15							
20							

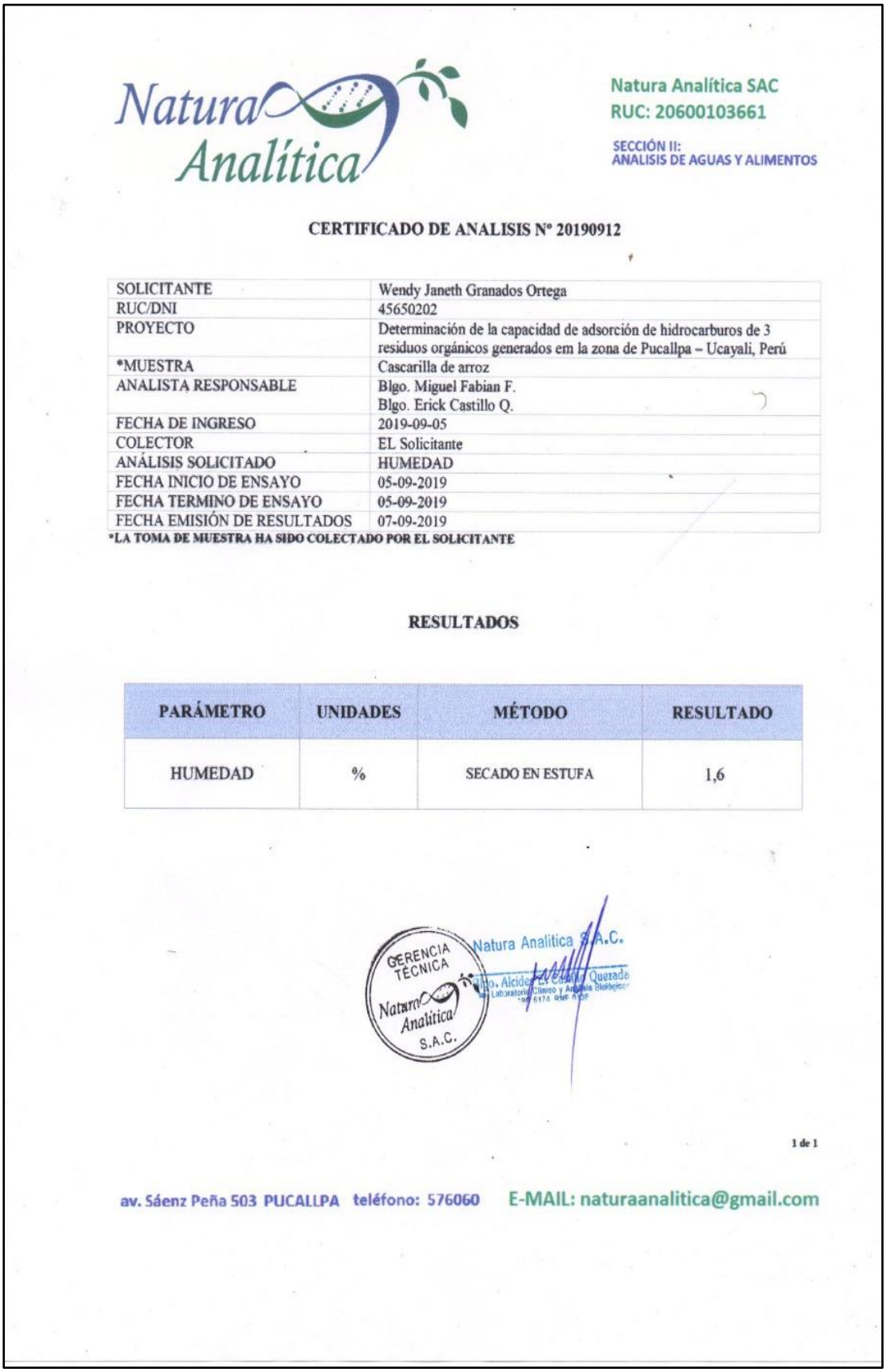
Observaciones:

.....

.....

Figura 19. *Ficha de recolección de datos*

Anexo 4 - Resultados de análisis de laboratorio



Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANALISIS Nº 20190912

SOLICITANTE	Wendy Janeth Granados Ortega
RUC/DNI	45650202
PROYECTO	Determinación de la capacidad de adsorción de hidrocarburos de 3 residuos orgánicos generados em la zona de Pucallpa – Ucayali, Perú
*MUESTRA	Cascarilla de arroz
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Miguel Fabian F. Blgo. Erick Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2019-09-05
COLECTOR	EL Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADO	HUMEDAD
FECHA INICIO DE ENSAYO	05-09-2019
FECHA TERMINO DE ENSAYO	05-09-2019
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	07-09-2019

*LA TOMA DE MUESTRA HA SIDO COLECTADO POR EL SOLICITANTE

RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
HUMEDAD	%	SECADO EN ESTUFA	1,6

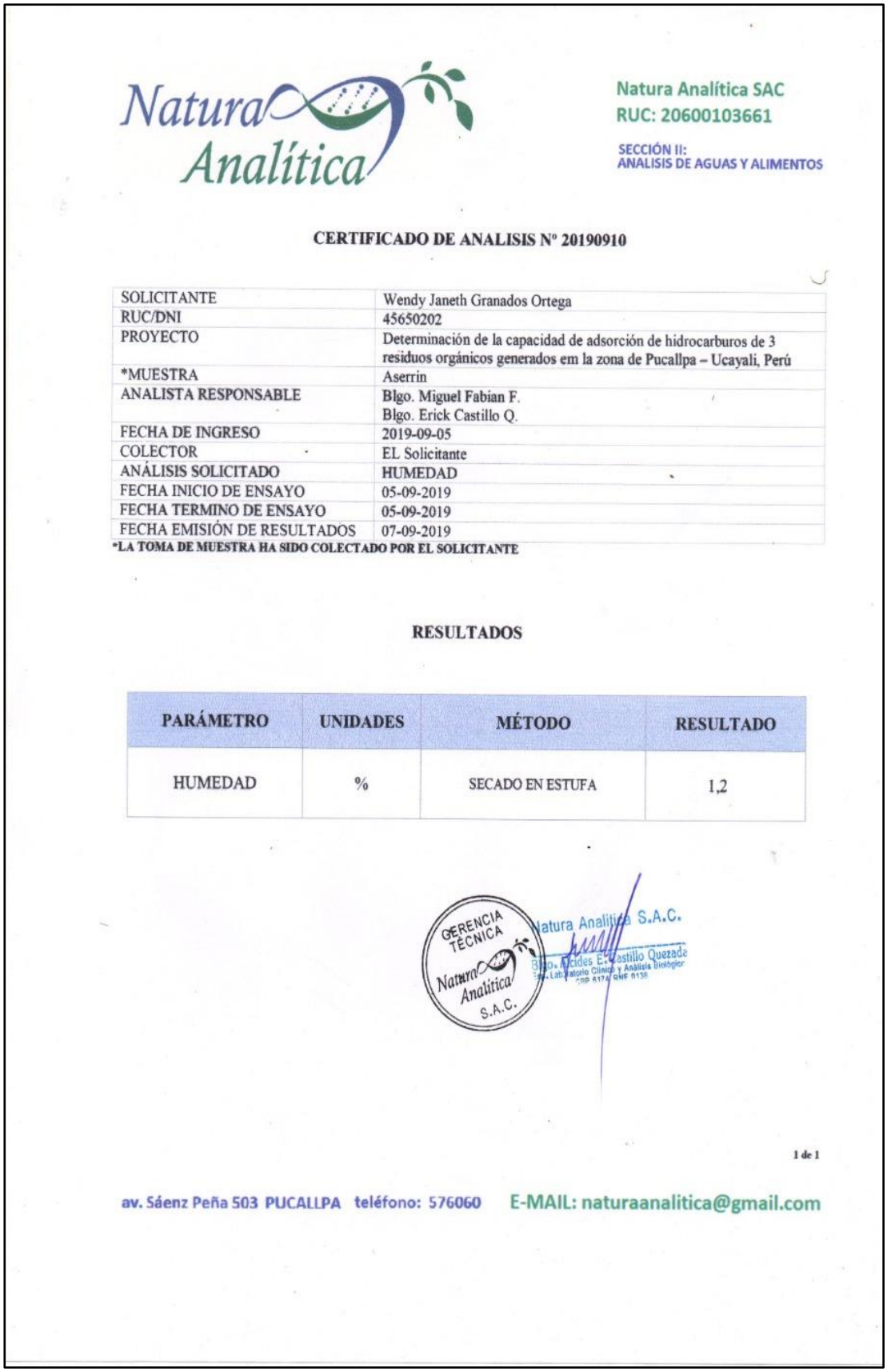
GERENCIA TÉCNICA Natura Analítica S.A.C.

Natura Analitica S.A.C.

1 de 1

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com

Figura 20. *Análisis de humedad de cascarilla de arroz*



Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANALISIS Nº 20190910

SOLICITANTE	Wendy Janeth Granados Ortega
RUC/DNI	45650202
PROYECTO	Determinación de la capacidad de adsorción de hidrocarburos de 3 residuos orgánicos generados em la zona de Pucallpa – Ucayali, Perú
*MUESTRA	Aserrin
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Miguel Fabian F. Blgo. Erick Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2019-09-05
COLECTOR	EL Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADO	HUMEDAD
FECHA INICIO DE ENSAYO	05-09-2019
FECHA TERMINO DE ENSAYO	05-09-2019
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	07-09-2019

*LA TOMA DE MUESTRA HA SIDO COLECTADO POR EL SOLICITANTE

RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
HUMEDAD	%	SECADO EN ESTUFA	1,2

GERENCIA TÉCNICA Natura Analítica S.A.C.

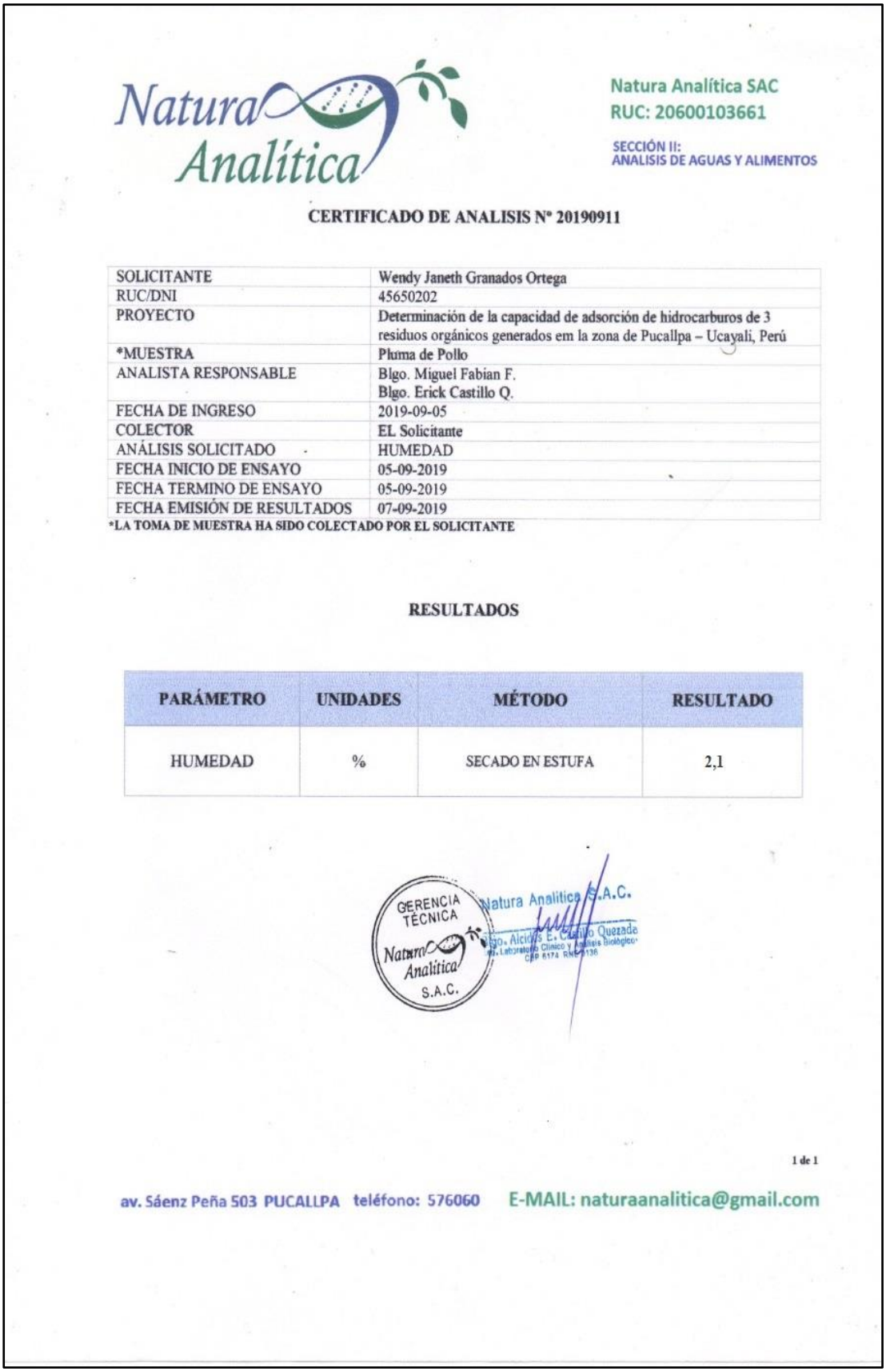
Natura Analítica S.A.C.

Blgo. Alcides E. Castillo Quezada

1 de 1

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com

Figura 21. *Análisis de humedad de aserrín.*



Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANALISIS Nº 20190911

SOLICITANTE	Wendy Janeth Granados Ortega
RUC/DNI	45650202
PROYECTO	Determinación de la capacidad de adsorción de hidrocarburos de 3 residuos orgánicos generados em la zona de Pucallpa – Ucayali, Perú
*MUESTRA	Pluma de Pollo
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Miguel Fabian F. Blgo. Erick Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2019-09-05
COLECTOR	EL Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADO	HUMEDAD
FECHA INICIO DE ENSAYO	05-09-2019
FECHA TERMINO DE ENSAYO	05-09-2019
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	07-09-2019

*LA TOMA DE MUESTRA HA SIDO COLECTADO POR EL SOLICITANTE

RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
HUMEDAD	%	SECADO EN ESTUFA	2,1

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

Natura Analítica S.A.C.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
Lab. Clínico y Análisis Biológico
CBP 6174 RNE 5136

1 de 1

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com

Figura 22. *Análisis de humedad de pluma de pollo.*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica
Centro de Certificación, Inspección y Ensayos de Productos Petroleros Gas Natural y Derivados
CERTIPETRO

INFORME DE ENSAYOS N° IE - 106319

IE Nº 106319/Página 1 de 1

1.	**INFORMACIÓN GENERAL**		
1.1	Solicitante (Nombre Legal)	**WENDY JANETH GRANADOS ORTEGA**	
1.2	Dirección Legal	Pasaje Coronel Bustamante 151	
1.3	Provincia / Departamento	PUCALLPA/UCAYALI	
1.4	Teléfonos / Fax	949558698	
1.5	Registro Único del Contribuyente (N°)	74650202	
1.6	Solicitud para Servicios de Ensayos (N°)	SS-043-19	
1.7	Fecha de Recepción de Solicitud	2019-09-10	
1.8	Ensayos / Servicios Solicitados	1 Ensayo Fisicoquímico	
1.9	Fecha de Inicio de Ensayo	2019-09-10	
1.10	Fecha de Término de Ensayo	2019-09-10	
2.	**INFORMACIÓN DEL PRODUCTO**		
2.1	Producto (Nombre Genérico)	---	
2.2	Identificación de muestra recepcionada	---	
2.2	Marca Comercial o Especial de las Muestras	**RESIDUAL**	
2.3	Número de Muestras Recepcionadas	01	
2.4	Cantidad de Muestra Recepcionada	750 mL Aprox.	
2.5	Forma de Presentación de las Muestras	1 Envase de Plástico	
3.	**RESULTADOS**		
Item	ENSAYOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO	RESULTADOS OBTENIDOS
3.1	Gravedad API a 60ºF	ASTM D287-12b	23.8
4.	**OBSERVACIONES**		
-			

Especificaciones sobre el uso del Informe de Ensayos:
- El presente informe de ensayos se refiere unicamente a la muestra analizada.
- Cualquier corrección o enmienda en el contenido del presente documento, lo anula automáticamente.
- Las enmiendas al presente documento no efectuadas por CERTIPETRO, constituyen un delito contra la fe pública y el infractor es sujeto de sanciones civiles y penales reguladas por dispositivos legales vigentes.
- Esta prohibida la reproducción parcial del presente informe de ensayo. El uso de la reproducción parcial también constituye un delito contra la fe pública
- El presente informe de ensayos es válido por noventa (90) días calendarios, contados a partir de la fecha de su emisión.
- El presente informe de ensayos, el logotipo y nombre de CERTIPETRO no pueden ser utilizados para fines publicitarios. Salvo previa autorización escrita del Director Ejecutivo de CERTIPETRO o del Decano de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica-UNI.

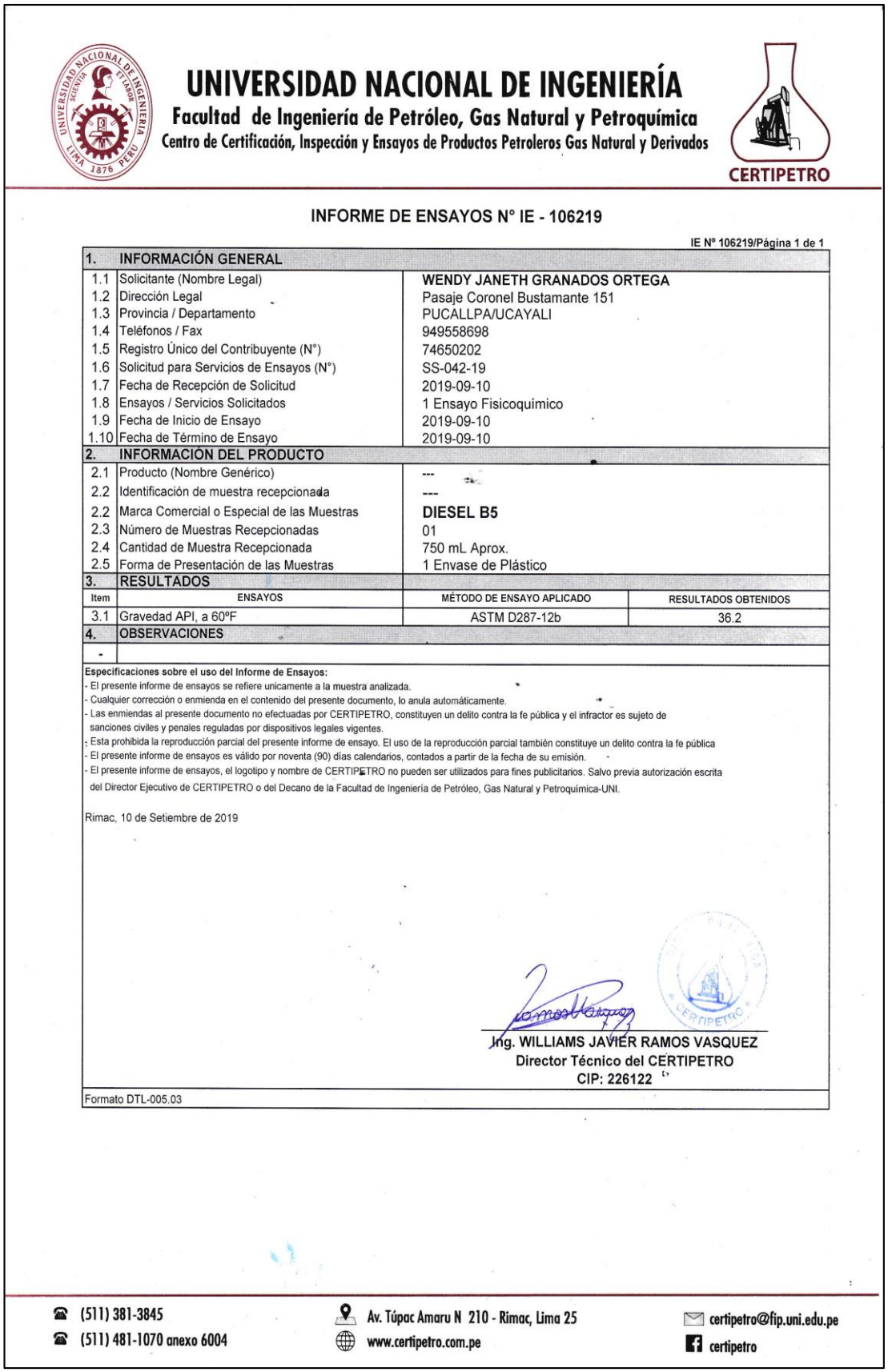
Rimac, 10 de Setiembre de 2019

Ing. WILLIAMS JAVIER RAMOS VASQUEZ
Director Técnico del CERTIPETRO
CIP: 226122

Formato DTL-005.03

(511) 381-3845
(511) 481-1070 anexo 6004
Av. Túpac Amaru N 210 - Rimac, Lima 25
www.certipetro.com.pe
certipetro@fip.uni.edu.pe
certipetro

Figura 23. *Análisis de Gravedad API (°API) del hidrocarburo aceite residual.*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica
Centro de Certificación, Inspección y Ensayos de Productos Petroleros Gas Natural y Derivados
CERTIPETRO

INFORME DE ENSAYOS N° IE - 106219

IE N° 106219/Página 1 de 1

1.	**INFORMACIÓN GENERAL**		
1.1	Solicitante (Nombre Legal)	**WENDY JANETH GRANADOS ORTEGA**	
1.2	Dirección Legal	Pasaje Coronel Bustamante 151	
1.3	Provincia / Departamento	PUCALLPA/UCAYALI	
1.4	Teléfonos / Fax	949558698	
1.5	Registro Único del Contribuyente (N°)	74650202	
1.6	Solicitud para Servicios de Ensayos (N°)	SS-042-19	
1.7	Fecha de Recepción de Solicitud	2019-09-10	
1.8	Ensayos / Servicios Solicitados	1 Ensayo Fisicoquímico	
1.9	Fecha de Inicio de Ensayo	2019-09-10	
1.10	Fecha de Término de Ensayo	2019-09-10	
2.	**INFORMACIÓN DEL PRODUCTO**		
2.1	Producto (Nombre Genérico)	---	
2.2	Identificación de muestra recepcionada	---	
2.2	Marca Comercial o Especial de las Muestras	**DIESEL B5**	
2.3	Número de Muestras Recepcionadas	01	
2.4	Cantidad de Muestra Recepcionada	750 mL Aprox.	
2.5	Forma de Presentación de las Muestras	1 Envase de Plástico	
3.	**RESULTADOS**		
Item	ENSAYOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO	RESULTADOS OBTENIDOS
3.1	Gravedad API, a 60°F	ASTM D287-12b	36.2
4.	**OBSERVACIONES**		
-			

Especificaciones sobre el uso del Informe de Ensayos:
- El presente informe de ensayos se refiere unicamente a la muestra analizada.
- Cualquier corrección o enmienda en el contenido del presente documento, lo anula automáticamente.
- Las enmiendas al presente documento no efectuadas por CERTIPETRO, constituyen un delito contra la fe pública y el infractor es sujeto de sanciones civiles y penales reguladas por dispositivos legales vigentes.
- Esta prohibida la reproducción parcial del presente informe de ensayo. El uso de la reproducción parcial también constituye un delito contra la fe pública
- El presente informe de ensayos es válido por noventa (90) días calendarios, contados a partir de la fecha de su emisión.
- El presente informe de ensayos, el logotipo y nombre de CERTIPETRO no pueden ser utilizados para fines publicitarios. Salvo previa autorización escrita del Director Ejecutivo de CERTIPETRO o del Decano de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica-UNI.

Rimac, 10 de Setiembre de 2019

Ing. WILLIAMS JAVIER RAMOS VASQUEZ
Director Técnico del CERTIPETRO
CIP: 226122

Formato DTL-005.03

(511) 381-3845
(511) 481-1070 anexo 6004
Av. Túpac Amaru N 210 - Rimac, Lima 25
www.certipetro.com.pe
certipetro@fip.uni.edu.pe
certipetro

Figura 24. *Análisis de Gravedad API (°API) del hidrocarburo diésel.*

Anexo 5 - Panel fotográfico



Figura 25. *Recolección de cascarilla de arroz.*



Figura 26. *Recolección de aserrín.*



Figura 27. *Recolección de plumas de pollo.*



Figura 28. *Secado al sol las muestras.*



Figura 29. *Acondicionamiento de las muestras.*



Figura 30. *Secado de las muestras.*



Figura 31. *Las muestras en bolsa hermética*



Figura 32. *Muestras adsorbentes en primer plano, de izquierda a derecha: RC, RA, RP, AC2 y AC1.*



Figura 33. *Observación de las características de las muestras.*



Figura 34. *Morfología de cascarilla de arroz*



Figura 35. *Morfología del aserrín*



Figura 36. *Morfología de pluma de pollo*



Figura 37. *Puesta del aceite residual y diésel en la celda de adsorción.*



Figura 38. *Puesta de la muestra en la cesta impregnada de aceite residual.*



Figura 39. *Puesta de la muestra dentro de la cesta de adsorción de aceite residual.*



Figura 40. *Cesta y celda de adsorción en plena adsorción de diésel.*



Figura 41. *De izquierda a derecha, cascarilla de arroz después del ensayo de adsorción de aceite residual y diésel.*



Figura 42. *De izquierda a derecha, plumas de pollo en plena adsorción de aceite residual y diésel.*



Figura 43. *De izquierda a derecha, pluma de pollo, antes y después del ensayo de adsorción de aceite residual.*



Figura 44. *Muestras de aserrín después del ensayo de adsorción de diésel.*



Figura 45. *Proceso de drenaje de las muestras.*



Figura 46. *Proceso de pesaje de muestras.*



Figura 47. *Adsorbentes convencionales orgánico y sintético.*



Figura 48*. De izquierda a derecha, comparación entre el RA y el AC2.*