

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES AMBIENTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE DE PETRÓLEO CRUDO (24
°API) DE LAS HOJAS DE LA GRAMÍNEA *Brachiara decumbens* COMO
ALTERNATIVA PARA AFRONTAR EL RIESGO AMBIENTAL LATENTE EN EL
OLEODUCTO NORPERUANO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

MIJAIL ELVIS HUARACHA VILCHEZ

PUCALLPA – PERÚ

2018

"Año del Dialogo y la Reconciliación Nacional"



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la sala de reuniones del auditorio de la Universidad Nacional de Ucayali a las 08:00 horas del día 17 de Octubre del 2018, se reunieron los miembros del jurado evaluador nombrado con memo múltiple N° 145-2018-UNU-FCFYA-CGT conformado por los siguientes docentes:

Dr. Carlos Panduro Carbajal

Presidente

Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez

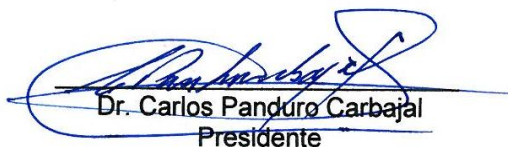
Miembro

Ing. Mg. David León Moreno

Miembro

Para evaluar la sustentación de la tesis **"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE DE PETRÓLEO CRUDO (24 °API) DE LAS HOJAS DE LA GRAMÍNEA *Brachiaria decumbens* COMO ALTERNATIVA PARA AFRONTAR EL RIESGO AMBIENTAL LATENTE EN EL OLEODUCTO NORPERUANO"** presentado por el Bachiller **Mijail Elvis Huaracha Vilchez**, terminado la sustentación se procedió a realizar las preguntas por parte del jurado evaluador, las cuales fueron absueltas por el sustentante. Por esta razón el jurado evaluador **APROBÓ** la tesis por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **MUY BUENO** declarando al sustentante apto para **OPTAR** el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, siendo asesorado por el **Ing. M. Sc. Fermín Campos Solórzano**.

Siendo las 09:20 horas del mismo día se dio por concluido el acto académico.


Dr. Carlos Panduro Carbajal
Presidente

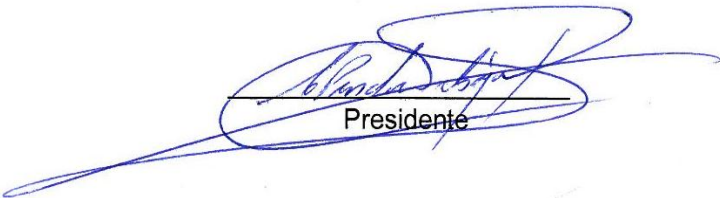

Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez
Miembro


Ing. Mg. David León Moreno
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por el jurado calificador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, conformado por:

Dr. Carlos Panduro Carbajal



Presidente

Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez



Miembro

Ing. Mg. David León Moreno



Miembro

Ing. M. Sc. Fermín Campos Solórzano



Asesor

Bach. Mijail Elvis Huaracha Vilchez



Tesista

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, MIJAIL ELVIS HUARACHA VILCHEZ

Autor de la TESIS titulada:

"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE DE PETROLEO CRUDO (24 °API) DE LAS HOJAS DE LA GRAMINEA Brachypodium distachyon COMO ALTERNATIVA PARA AFRONTAR EL RIESGO AMBIENTAL (ATENTE EN EL OLEODUCTO NORPERUANO)"

Sustentada el año: 2018

Con la asesoría de: ING. M. SC. FERMIN CAMPOS SOLÓRZANO

En la Facultad: DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional de: INGENIERIA 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: 19 / 11 / 2018

Email: mjarlehu@gmail.com

Teléfono: 961016728

Firma: 

DNI: 45459641

DEDICATORIA

A Dios por brindarme grandes bendiciones en mi vida y mostrarme el camino hacia la felicidad.

A mis abuelos, padres y especialmente a mis tíos Humberto Castro y Gloria Vilchez, por darme la oportunidad de formarme personal y profesionalmente. Gracias y siempre los llevare en mi corazón y memoria.

AGRADECIMIENTO

- A los docentes de la Universidad Nacional de Ucayali, quienes aportaron en mi formación profesional durante mi etapa universitaria.
- Al Ing. Fermín Campos Solórzano, Asesor de la Tesis, por su apoyo e interés durante todo el desarrollo de la investigación.
- A Petróleos del Perú S.A – Petroperú, que a través del Ing. José Hidalgo Quevedo Subgerente de Refinación Conchán, me apoyaron con la donación del reactivo necesario para la realización de esta investigación.
- A la Sra. Mercedes Beatriz Ojeda Arrunategui y Mg. Berenice Rodríguez Vargas por su guía para obtener el reactivo necesario para realizar esta investigación.
- A Carolina Castro Vilchez por su apoyo infinito e incondicional.
- Al personal técnico del Laboratorio Química de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali, Sr. Gerardo Arimuya por facilitarme el laboratorio y los materiales necesarios para desarrollar la presente investigación.

INDICE DEL CONTENIDO

Resumen.....	xii
Introducción.....	1
Capítulo I.....	3
Planteamiento del problema.....	3
1.1. Descripción del problema.....	3
Capítulo II.....	6
Marco teórico.....	6
2.1. Antecedentes del problema.....	6
2.2. Planteamiento teórico del problema.....	7
2.2.1. El petróleo.....	7
2.2.1.1. Impactos de la explotación petrolera.....	8
2.2.2. Accidentes de derrames de petróleo.....	9
2.2.2.1. Impactos de los derrames de petróleo en el ambiente natural.....	9
2.2.3. El Oleoducto Norperuano (ONP).....	11
2.2.3.1. Funciones del Oleoducto Norperuano.....	12
a. Recepción de crudo.....	12
b. Almacenamiento.....	12
c. Embarque de crudo.....	12
d. Transporte.....	12
2.2.4. Problemas de derrames de petróleo en el Oleoducto Norperuano.....	13
2.2.4.1. Cronología de los últimos derrames de petróleo sucedidos en el Oleoducto Norperuano.....	16
2.2.5. Impactos de los derrames de petróleo en la Amazonia Norperuana.....	17
2.2.5.1. Impactos en la fauna.....	18
2.2.5.2. Riesgo en áreas protegidas.....	18
2.2.6. Técnicas convencionales para limpiar de derrames de petróleo.....	19
2.2.6.1. Contención mecánica.....	19
2.2.6.2. Recuperación de hidrocarburos.....	19
2.2.6.3. Uso de dispersantes químicos.....	20
2.2.6.4. Tratamientos biológicos.....	20

2.2.6.5. Incineración in situ.....	21
2.2.7. La adsorción.....	21
2.2.7.1. Tipos de adsorción.....	22
a. Adsorción física.....	22
b. Adsorción química.....	23
c. Adsorción por intercambio iónico.....	23
2.2.7.2. Bioadsorción.....	23
2.2.7.3. Adsorbentes de petróleo.....	24
2.2.7.4. Ventajas y desventajas de los adsorbentes según su forma.....	25
2.2.8. La gramínea <i>Brachiara decumbens</i>	26
2.2.8.1. Descripción morfológica.....	27
2.2.8.2. Producción de biomasa.....	28
2.2.8.3. Problemas invasivos en la amazonia.....	29
2.3. Definición de términos básicos.....	30
Capítulo III.....	31
Metodología.....	31
3.1. Método de investigación.....	31
3.2. Población y muestra.....	31
3.2.1. Ubicación donde se recolectó la muestra.....	31
3.2.2. Ubicación donde se realizó las pruebas experimentales.....	32
3.3. Instrumentos para la recolección de datos.....	33
3.3.1. Formato de recolección de datos.....	33
3.3.2. Materiales y equipos.....	33
3.4. Procedimiento.....	34
3.4.1. En el campo.....	34
3.4.2. En laboratorio.....	34
3.4.2.1. Acondicionamiento de la muestra.....	34
3.4.2.2. Secado de las hojas de la gramínea <i>Bracharia decumbens</i>	34
3.4.2.3. Obtención y selección del bioadsorbente por longitud.....	35
3.4.2.4. Caracterización del bioadsorbente.....	35
3.4.2.5. Obtención y análisis del petróleo crudo.....	35

3.4.2.6. Procedimiento de los ensayos de capacidad de adsorción.....	35
3.4.2.7. Adicionalidad.....	36
3.5. Procesamiento de datos.....	37
3.5.1. Determinación de fibra y humedad del bioadsorbente.....	37
3.5.2. Determinación de la gravedad específica del petróleo crudo.....	37
3.5.3. Determinación de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API.....	37
3.6. Diseño estadístico.....	38
3.7. Tratamiento de datos.....	40
Capítulo IV.....	41
Resultados y Discusión.....	41
4.1. Capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea <i>Brachiaria decumbens</i>	41
4.1.1. Análisis de varianza de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea <i>Brachiaria decumbens</i>	43
4.1.2. Influencia de la longitud.....	44
4.1.3. Influencia del tiempo.....	49
4.2. Desempeño del bioadsorbente más óptimo frente a los adsorbentes comerciales.....	53
4.3. Adicionalidad.....	56
Capítulo V.....	60
Conclusiones y Recomendaciones.....	60
5.1. Conclusiones.....	60
5.2. Recomendaciones.....	61
Bibliografía.....	62
Anexos.....	70
Anexo 1 – Descripción de los adsorbentes empleados en la presente investigación.....	71
Anexo 2 – Resultados de capacidad de adsorción de los adsorbentes empleados en la investigación.....	72

Anexo 3 - Formato y resultados de los análisis de laboratorio realizados en la investigación.....	77
Anexo 4 - Panel fotográfico.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de petróleo crudo según gravedad API.....	8
Tabla 2. Impactos biofísicos ocasionados por los derrames de petróleo en el medio ambiente.....	10
Tabla 3. Numero de derrames de petróleo en el Oleoducto Norperuano del año 2012 al 2016.....	15
Tabla 4. Consideraciones de uso para diferentes tipos de materiales adsorbentes...	24
Tabla 5. Ventajas y desventajas de las diferentes formas de adsorbentes.....	26
Tabla 6. Descripción taxonomía de la gramínea <i>Brachiara decumbens</i>	27
Tabla 7. Esquema del diseño experimental.....	39
Tabla 8. Capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea <i>Brachiara decumbens</i>	41
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) de la capacidad de bioadsorción de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea <i>Brachiara decumbens</i>	44
Tabla 10. Análisis de Duncan para el factor longitud del bioadsorbente.....	45
Tabla 11. Análisis de Duncan para el factor tiempo de adsorción.....	49
Tabla 12. Capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API del TB1, TC1 TC2....	53
Tabla 13. Capacidad de adsorción petróleo crudo 24 °API para diferentes dosis de TB1.....	57
Tabla 14. Descripción general del bioadsorbente.....	71
Tabla 15. Descripción general del adsorbente comercial sintético.....	71
Tabla 16. Descripción general del adsorbente comercial orgánico.....	71
Tabla 17. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea <i>Brachiara decumbens</i> para longitudes de 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 y 2,50 cm y tiempos de ensayo de 10, 15 y 20 minutos.....	72
Tabla 18. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API del adsorbente comercial sintético (TC1) y el adsorbente comercial orgánico (TC2) con tiempos de adsorción de 10, 15 y 20 minutos.....	74

Tabla 19. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API del bioadsorbente con un tamaño de 0,25 cm y dosis de 02 y 06 gramos con tiempos de adsorción de 10, 15 y 20 minutos.....	75
Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) adicional para la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API con dosis de 02, 04 y 06 gramos.....	76
Tabla 21. Análisis de Duncan de la variable tiempo de adsorción para dosis de 02, 04 y 06 gramos.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Descripción general del Oleoducto Norperuano por tramos.....	11
Figura 2.	Parámetros de diseño del ONP por tramos y características del petróleo crudo actualmente transportados.....	13
Figura 3.	Situación del Oleoducto Norperuano, derrames en el año 2016.....	16
Figura 4.	Mecanismo de adsorción.....	22
Figura 5.	Gramínea <i>Bracharia decumbens</i>	28
Figura 6.	Ubicación de la zona de recolección de la muestra.....	32
Figura 7.	Ubicación donde se ejecutaron las pruebas experimentales.....	32
Figura 8.	Capacidad de adsorción del bioadsorbente para 10 minutos.....	42
Figura 9.	Capacidad de adsorción del bioadsorbente para 15 minutos.....	42
Figura 10.	Capacidad de adsorción del bioadsorbente para 20 minutos.....	43
Figura 11.	Perfil de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API para el bioadsorbente con longitudes de 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 y 2,50 cm.....	47
Figura 12.	Irregularidades (rugosidad) mostrada en la superficie del bioadsorbente estudiado.....	48
Figura 13.	Perfil de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API para tiempos de 10, 15 y 20 minutos.....	50
Figura 14.	Capacidad de adsorción de petróleo para el bioadsorbente (TB1), adsorbente comercial sintético (TC1) y adsorbente comercial orgánico (TC2).....	54
Figura 15.	Capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API para diferentes dosis del TB1.....	57
Figura 16.	Formato de capacidad de adsorción para los ensayos realizados en la presente investigación.....	77
Figura 17.	Constancia de entrega de 02 galones de petróleo crudo por parte de la empresa Petroperú-Refinería Conchán.....	78
Figura 18.	Análisis de la gravedad api (°API) del petróleo crudo utilizado en la investigación.....	79

Figura 19.	Análisis de humedad, fibra y grasa de las hojas secas de la gramínea <i>Brachiaria decumbens</i>	80
Figura 20.	Población de gramínea <i>Brachiara decumbens</i> ubicado en los campos agrícolas del Distrito de Neshuya.....	81
Figura 21.	Planta de gramínea <i>Brachiara decumbens</i> en primer plano.....	81
Figura 22.	Muestra recolectada de la gramínea <i>Brachiara decumbens</i>	81
Figura 23.	Selección de las hojas de la gramínea <i>Brachiara decumbens</i>	81
Figura 24.	Hojas seleccionadas de la gramínea <i>Brachiara decumbens</i>	81
Figura 25.	Secado de las hojas en estufa de aire forzado para la obtención del bioadsorbente.....	81
Figura 26.	Dimensionado del bioadsorbente según la longitud requerida.....	82
Figura 27.	Muestras bioadsorbentes seccionadas en longitudes de 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 y 2,50 cm.....	82
Figura 28.	Almacenamiento de las muestras bioadsorbentes.....	82
Figura 29.	Pesaje de muestra bioadsorbente antes del ensayo.....	82
Figura 30.	Procedimiento de puesta de la muestra bioadsorbente en la cesta de adsorción.....	82
Figura 31.	Bioadsorbentes de diferente longitud en pleno ensayo.....	82
Figura 32.	Procedimiento de puesta y retiro de la cesta de adsorción.....	83
Figura 33.	Proceso de drenado.....	83
Figura 34.	Muestra bioadsorbente ensayada listo para el pesaje.....	83
Figura 35.	Pesaje de la muestra bioadsorbente después del ensayo.....	83
Figura 36.	Muestras bioadsorbentes antes y después del ensayo.....	83
Figura 37.	Muestra de adsorbente comercial sintético (TC1).....	83
Figura 38.	Muestra de adsorbente comercial sintético (TC1) en pleno ensayo.....	84
Figura 39.	Muestra de adsorbente comercial orgánico (TC2) antes y después del ensayo.....	84
Figura 40.	De izquierda a derecha: bioadsorbente (TB1), adsorbente comercial sintético (TC1), adsorbente comercial orgánico (TC2).....	84

RESUMEN

En esta investigación se evaluó a las hojas de la *Brachiara decumbens* como bioadsorbente de petróleo crudo 24 °API para disponer así de un material alternativo con que afrontar el riesgo ambiental latente en el Oleoducto Norperuano.

Para obtener el bioadsorbente a ensayar se trató y seccionó longitudinalmente las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens* en diferentes tamaños. Para los ensayos de capacidad de adsorción se acondicionó el método de prueba estándar para rendimiento de los adsorbentes ASTM F726-12 en su apartado “Oil adsorption short test”, las pruebas fueron escaladas en un sistema experimental y mostraron la capacidad de adsorción del material evaluado, así mismo se comparó el mejor desempeño mostrado por el bioadsorbente frente a dos adsorbentes comerciales de petróleo de origen sintético y orgánico. Para los ensayos de capacidad de adsorción se variaron dos parámetros, longitud del bioadsorbente (0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 y 2,50 centímetros) y tiempo de contacto del bioadsorbente con el petróleo (10, 15 y 20 minutos). Los resultados evidenciaron que estos dos factores influyen en la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API obteniéndose el mejor rendimiento con 7,8 g petróleo/g bioadsorbente para un tiempo de ensayo de 15 minutos y una longitud del bioadsorbente de 0,25 cm; este resultado fue inferior a los obtenidos por el adsorbente comercial sintético y el adsorbente comercial orgánico quienes mostraron capacidades de adsorción máximas de 11,9 y 10,4 g petróleo/g adsorbente respectivamente.

Adicionalmente y como curiosidad científica se realizaron ensayos para el bioadsorbente que presentó la mayor capacidad de adsorción (0,25 cm) y para cantidades iniciales de 02, 04 y 06 gramos, determinándose mediante los resultados que el empleo de diferentes dosis de material bioadsorbente no afecta de manera drástica la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API.

Palabras Claves: *Brachiara decumbens*, capacidad de adsorción, Oleoducto Norperuano, bioadsorbente, adsorbente, petróleo.

ABSTRACT

In this research, the leaves of the *Brachiara decumbens* were evaluated as bioadsorbent of crude oil 24 °API in order to have an alternative material to face the late environmental risk in the Norperuano Pipeline.

To obtain the bioadsorbent to be tested, the leaves of the *Brachiara decumbens* grass were treated and sectioned longitudinally in different sizes. For the adsorption capacity tests, the standard test method for the performance of the adsorbents ASTM F726-12 was conditioned in its "Oil adsorption short test" section. The tests were scaled in an experimental system and showed the adsorption capacity of the material evaluated. , likewise, the best performance shown by the bioadsorbent was compared with two commercial adsorbents of synthetic and organic oil. For the adsorption capacity tests, two parameters were varied: bioadsorbent length (0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 and 2.50 centimeters) and contact time of the bioadsorbent with the oil (10, 15 and 20 minutes). The results showed that these two factors influence the adsorption capacity of crude oil 24 ° API, obtaining the best performance with 7.8 g oil / g bioadsorbent for a test time of 15 minutes and a length of bioadsorbent of 0.25 cm; this result was lower than those obtained by the synthetic commercial adsorbent and the organic commercial adsorbent, which showed maximum adsorption capacities of 11.9 and 10.4 g oil / g adsorbent respectively.

Additionally, as a scientific curiosity, tests were carried out for the bioadsorbent which showed the highest adsorption capacity (0.25 cm) and for initial quantities of 02, 04 and 06 grams, and it was determined by the results that the use of different doses of bioadsorbent material did not drastically affects the adsorption capacity of crude oil 24 °API.

Keywords: *Brachiara decumbens*, adsorption capacity, Norperuano pipeline, bioadsorbent, adsorbent, petroleum.

INTRODUCCIÓN

Durante el transporte de grandes cantidades de petróleo ya sea por vía marítima, oleoductos u otros medios existe el riesgo inherente de perder el control durante este proceso, siendo de lejos los derrames de petróleo uno de los accidentes más frecuentes y perjudiciales que traen consigo graves impactos al medio ambiente, afectando así también a las actividades económicas y de subsistencia de los asentamientos humanos o comunidades en las zonas donde estos suceden. El Perú no se encuentra ajeno a esta realidad, país donde se ubican muchas empresas de extracción de crudo y poseedor de grandes yacimientos petrolíferos, alcanzó para el año 2016 una producción promedio de 40.4 MBPD (Diario Gestión, 2017), coexistiendo esta actividad extractiva con los accidentes de derrame de petróleo, las cuales en estos últimos años se vienen sucediendo de manera recurrente en las diferentes instalaciones del Oleoducto Norperuano (ONP) específicamente en los tramos que recorren la selva norte.

Para tratar los derrames de petróleo existen muchos métodos, equipos y materiales que pueden emplearse para este fin, como el uso de skimmers, barreras de contención, la aplicación de espumas químicas, adsorbentes sintéticos, detergentes, uso de dispersantes, incineración in situ, etc. pero estos tratamientos generalmente son de alto costo además de dejar desechos en las cuales debido a su naturaleza sintética, su disposición final se vuelve un problema adicional y por lo habitual no son aplicables de manera inmediata en un derrame de petróleo, compensando estas desventajas el uso de adsorbentes elaborado a partir de materiales naturales y de fácil obtención en las zonas que presentan riesgos de derrame de crudo; pues la adsorción es una tecnología de eliminación de petróleo preferida debido a su simplicidad y costo de procesamiento relativamente más bajo en comparación con otras tecnologías de retiro de petróleo (Ibrahim et al. 2009).

A pesar de todo lo anteriormente mencionado en nuestro país es inexistente la investigación sobre el aprovechamiento de materiales naturales como adsorbentes de petróleo que estén orientados a disminuir el riesgo ambiental latente que presenta el Oleoducto Norperuano pues no se encuentran datos experimentales que sustenten estudio alguno para este fin, motivo por el cual y de forma innovadora enfocamos la presente investigación en evaluar a las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens* como adsorbente

de un tipo de petróleo transportado por el Oleoducto Norperuano pues en el ambiente amazónico este material nos ofrece la ventaja de ser fácilmente cultivable y por ende rápidamente disponible, ser de naturaleza biodegradable y más importante aún que para su aplicación como adsorbente no necesita de conocimientos ni técnicas especializadas pudiendo ser empleado por los pobladores de las zonas aledañas donde suceden los accidentes de derrame de petróleo crudo del Oleoducto Norperuano, contribuyendo con esto a la conservación y protección del frágil ambiente amazónico, promoviendo una actividad petrolera bien hecha y fomentando este tipo de investigaciones en la región y el país para el desarrollo de adsorbentes no solo de petróleo sino de otros tipos de contaminantes que los investigadores futuros crean convenientes.

El presente estudio tuvo como objetivo general evaluar la capacidad adsorbente de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens* como alternativa para afrontar el riesgo ambiental latente en el Oleoducto Norperuano. Para ello se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la longitud donde el bioadsorbente logra su mayor capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API.
- Determinar el tiempo donde el bioadsorbente logra su mayor capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API.
- Determinar si la capacidad adsorbente más óptima del bioadsorbente estudiado es competitiva frente a los adsorbentes comerciales usados para la comparación.
- Determinar si la dosis inicial de bioadsorbente influye en la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La gran demanda de petróleo que se dio en la década de los años 70 impulso en el Perú el desarrollo y construcción del Oleoducto Norperuano (ONP) siendo catalogado como una de las obras más importantes y de mayor envergadura que se haya realizado en los últimos 100 años en el país (Petroperú, 2016). Actualmente el ONP tiene ciertas deficiencias en sus operaciones de transporte de crudo pues la antigüedad de este, un mayor desgaste de las tuberías por el aumento de la viscosidad del petróleo extraído, las características geoclimáticas de las zonas en donde opera y en mayor medida, atentados a su infraestructura causadas por terceros, conllevo a un incremento de los accidentes de derrames de petróleo en los últimos años, razón por el cual el gobierno peruano dispuso el D.L. N° 1292, el cual tiene como objetivo principal la operación segura del Oleoducto Norperuano y la reorganización y mejora del gobierno corporativo de Petroperú S.A.; sin embargo existe la preocupación constante de que sucedan nuevos accidentes, pues la restructuración misma de Petroperú no garantiza que estos no vuelvan a ocurrir, los años que tomara la restructuración de Petroperú, la inmensidad y mantenimiento del ONP, la demora en la renovación de las instalaciones y factores externos como los ya mencionados atentados a las tuberías, hacen que el transporte de petróleo crudo por este medio siga siendo una actividad que coexiste con un riesgo latente de que en el futuro ocurran nuevos accidentes de derrame de petróleo con los consecuentes impactos ambientales, sociales y económicos.

Para muchos de los trabajos de contención y tratamiento de los derrames de petróleo ocurridos en el ONP, Petroperú firma contratos con empresas especialistas en limpieza y remediación ambiental, la información sobre los trabajos de dichas empresas y el tipo de petróleo a tratar es restringido, sin embargo en su sitio web estas detallan que para el cumplimiento de sus labores emplean equipos, tratamientos y materiales de vanguardia que generalmente son costosos, esto conforme a lo reportado por El Diario La República (2016) en su artículo “Petroperú gastó S/ 400 millones para atender derrames en el ONP”, donde se hace mención que según cálculos de la propia Petroperú por cada derrame de petróleo se

destinan al menos unos S/ 40 millones en trabajos de reparación, contención, limpieza, entre otros. Ante escenarios similares, diferentes investigaciones se han realizado en otros países impulsados por la búsqueda constante de nuevos productos que obedecen a la preocupación de abaratar costes, utilizar productos biodegradables, abundantes, de uso rápido y simplificar los mecanismos de producción, todo esto con el fin último de combatir efectiva y rápidamente los derrames de diferentes tipos de petróleo, aprovechando para ello el fenómeno de adsorción. 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).

En las regiones amazónicas proliferan muchos de estos residuos y materiales anteriormente mencionados sin embargo no pueden estar disponibles fácilmente en las zonas y comunidades cercanas en donde se producen los derrames de petróleo del Oleoducto Norperuano pues estos lugares carecen de industria o actividades que generen gran cantidad de materiales que pueden emplearse como adsorbentes de petróleo, así mismo el envío de estos materiales a dichos lugares remotos ocasionarían un gasto adicional innecesario; no obstante en estas zonas se encuentran gran cantidad de especies vegetales autóctonas y no autóctonas las cuales pueden ser aprovechadas y empleadas como materia prima para elaborar adsorbentes localmente y a bajo costo, siendo una de estas la gramínea *Brachiara decumbens*, planta que encontró en esta parte del mundo las condiciones adecuadas para diseminarse sin intervención humana y ser una de las especies más ampliamente distribuidas, adaptables y con tendencias invasoras que pueden ser encontrada en la amazonia. Pivello (2005) menciona que esta gramínea presenta dificultades en su control debido a su agresividad, alelopatía, rápido crecimiento, rusticidad, tolerancia a la acidez y a elevadas concentraciones de aluminio, características que en conjunto hacen de esta gramínea una invasora eficaz y de fácil cultivo en la Amazonia.

Por lo expuesto ¿Porque no investigar a esta gramínea como bioadsorbente de petróleo crudo? específicamente a las hojas de esta, evaluando su rendimiento de acuerdo al tamaño y al tiempo ya que estos son dos factores importantes en la capacidad de adsorción independientemente del tipo de material adsorbente que se investiga, apoyándonos para ello

en el método estandarizado ASMTF F726 - 12 que facilita medir el desempeño de los adsorbentes y comparar su eficiencia frente a otros adsorbentes, enfocándonos en un tipo de petróleo crudo comúnmente transportado por el Oleoducto Norperuano pues como se explicó anteriormente la tendencia es que en un futuro los derrames de petróleo en estas instalaciones se sigúan sucediendo, entonces podemos enfocar el problema con la pregunta: ¿Cuál es la capacidad adsorbente de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens* como alternativa para afrontar el riesgo ambiental latente del Oleoducto Norperuano?.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Se han ensayado e investigado materiales de diferente origen para retirar petróleo mediante la adsorción, como: la 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 M., 2010), los cuales son materiales muy atractivos por su bajo costo, versatilidad y abundancia. En estudios de adsorción de tres materiales: fibra de caña, fibra de coco y buchón de agua, con tres hidrocarburos de: 35, 30 y 25 °API; y dos tipos de agua: destilada y marina artificial se encontró que los tres materiales evaluados tuvieron una capacidad de adsorción igual o superior a un material comercial (Sphagnum) con el cual fueron comparados. El buchón de agua presentó una capacidad de adsorción de 8.26 veces su peso, y la fibra de coco de 11.1 veces su peso (Ortiz et al. 2006).

De igual manera Sayeda & Zayed (2005) estudiaron la capacidad de adsorción de tres tipos diferentes de materiales: un lodo compuesto principalmente de aluminio y silicato de calcio formado durante la clarificación de agua y la cáscara de ajo y de cebolla como desechos agrícolas. Los resultados mostraron que las capacidades de adsorción de los lodos tratados químicamente con 30 mg/ml de ácido dodecibencensulfónico, los lodos no tratados y los lodos tratados térmicamente a 1200 °C fueron 2, 1.388 y 0.8 g/g, respectivamente; mientras que para las cáscaras de ajo y cebolla fueron 0.385 y 0.455 g/g, respectivamente. Estos resultados se obtuvieron con una solución salina de NaCl 0.5 M (750 ml) con 0.6 g de petróleo crudo a 30 °C, con diferentes pesos de adsorbentes.

Vlaev et al. (2011) obtuvieron ceniza negra de cáscara de arroz (BRHA) y ceniza blanca de cascarilla de arroz (WRHA) a través de pirolisis de la cascarilla de arroz en bruto. Estudiaron la capacidad de adsorción de petróleo crudo y combustible diesel por las cenizas a diferentes temperaturas. Establecieron que BRHA tiene mayor capacidad de adsorción que WRHA. A una temperatura dada, BRHA absorbió más crudo que combustible diesel. Además en estudios realizados con turba, se compararon tres tipos de adsorbentes a base de

turba con el fin de determinar su potencial para la limpieza de derrames de petróleo. El mejor adsorbente pudo sorber diferentes tipos de petróleo de 12-16 veces su peso (Cojocarú et al. 2011).

Finalmente Salinas (2010) estudió la producción de harina de plumas de pollo y su utilización como un adsorbente de hidrocarburos. De acuerdo con los resultados experimentales concluyó que la capacidad de adsorción de la pluma de pollo fue de 2.5 g/g para la harina sin tamizar, 2.6 g/g para el tamaño de partícula gruesa y 2.6 g/g para el tamaño de partícula fino. En este mismo estudio se realizaron experimentos con fibra de coco con una capacidad de 16.8 g/g adsorbente y un adsorbente comercial (Sphagnum) con capacidad de 5.7 g/g adsorbente.

Todos los materiales ensayados, si bien tienen una buena capacidad de extracción de petróleo, necesitan una activación previa y son materiales que no siempre se encuentran cerca del lugar del derrame por ejemplo en un derrame localizado en medio de la amazonia, lo que hace difícil una acción rápida de contención.

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA

2.2.1. El petróleo

El petróleo que etimológicamente significa aceite de piedra es la fuente de energía más importante en la actualidad; es una mezcla de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos insolubles en agua. También es conocido como oro negro, petróleo crudo o simplemente crudo, aunque se desconocen los procesos químicos involucrados en su formación, se puede decir que se produce en el interior de la Tierra, por transformación de la materia orgánica acumulada en sedimentos del pasado geológico y puede acumularse en trampas geológicas naturales, de donde se extrae mediante la perforación de pozos.

En condiciones normales de presión y temperatura es un líquido bituminoso que puede presentar gran variación en diversos parámetros como color y viscosidad (desde amarillentos y poco viscosos como la gasolina hasta líquidos negros tan viscosos que apenas fluyen). Estas variaciones se deben a la diversidad de concentraciones de los hidrocarburos que componen la mezcla, esto hace que el petróleo de cada pozo o fuente sea distinto de otro (Wikipedia, 2016).

La industria petrolera clasifica el petróleo crudo según su lugar de origen y también en base a su densidad o gravedad API de acuerdo al Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute).

Tabla 1. Tipos de petróleo crudo según gravedad API

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

Fuente: Adaptado de Villareal (2011)

2.2.1.1. Impactos de la explotación petrolera

La actividad petrolera es una de las industrias que más impactos ambientales en la biodiversidad generan a nivel local y global, en las distintas fases de la explotación petrolera y las prácticas operacionales típicas de la industria petrolera en zonas tropicales se produce destrucción de la biodiversidad y del ambiente en general (Almeida, 2006).

Por otro lado la quema de combustibles fósiles constituye la principal causante del calentamiento global a pesar de la importancia que tienen las regiones tropicales para la estabilidad del clima mundial, de la importantísima biodiversidad que albergan, y de ser el hogar de cientos de pueblos indígenas y comunidades ancestrales, la industria petrolera ve en estas regiones como una frontera para ampliar su negocio. De acuerdo a percepciones de la industria, es muy barato explotar petróleo en zonas tales como la cuenca amazónica, el sudeste asiático y en los mares tropicales, con el desarrollo de la tecnología para aguas profundas (Bravo, 2007). Además el petróleo es uno de los productos más altamente contaminante entrando en el ambiente por diferentes vías: mediante accidentes, como emisiones de algunas industrias o como subproductos provenientes de actividades industriales o domésticas.

2.2.2. ACCIDENTES DE DERRAMES DE PETRÓLEO

Es un vertido accidental de petróleo al medio ambiente que se produce de manera accidental por alguna práctica inadecuada, con la consecuente contaminación de los ecosistemas donde se produce el evento, perjudicando catastróficamente la fauna y flora, siendo sus efectos muy persistentes en el tiempo. Los derrames petroleros ocurren por un manejo rutinario negligente (goteo de las tuberías y otra infraestructura, corrosión de la infraestructura), por accidentes y por atentados aunque los segundos tienen mayor impacto por su magnitud, los primeros constituyen una fuente de contaminación permanente. El impacto de los derrames petroleros varía de acuerdo al tipo de crudo transportado, el tamaño del derrame, las condiciones climáticas al momento del derrame y de los ecosistemas aledaños (Bravo, 2007).

En un derrame de petróleo estos sufren una serie de cambios progresivos en sus propiedades físico-químicas que van a modificar su comportamiento y características a este proceso se le conoce como meteorización o intemperización, proceso que se inicia tras el derrame y continua de forma indefinida. La tasa de meteorización va a variar según las características del producto derramado y de las condiciones climáticas existentes en el lugar donde se ha producido el derrame (Silos-Rodríguez, 2008).

2.2.2.1. Impactos de los derrames de petróleo en el ambiente natural

Las consecuencias después de producido un vertido accidental de petróleo al ambiente natural son graves y perjudiciales afectando a todos sus componentes biofísicos como el aire, agua, suelo, etc., así mismo para tratar estos accidentes los procesos y actividades a realizarse generan impactos adicionales cuya gravedad aumenta si estas operaciones se realizan en lugares vulnerables y con alta biodiversidad, la tabla 2 detalla algunos de los impactos más relevantes cuando suceden y se tratan derrames de petróleo:

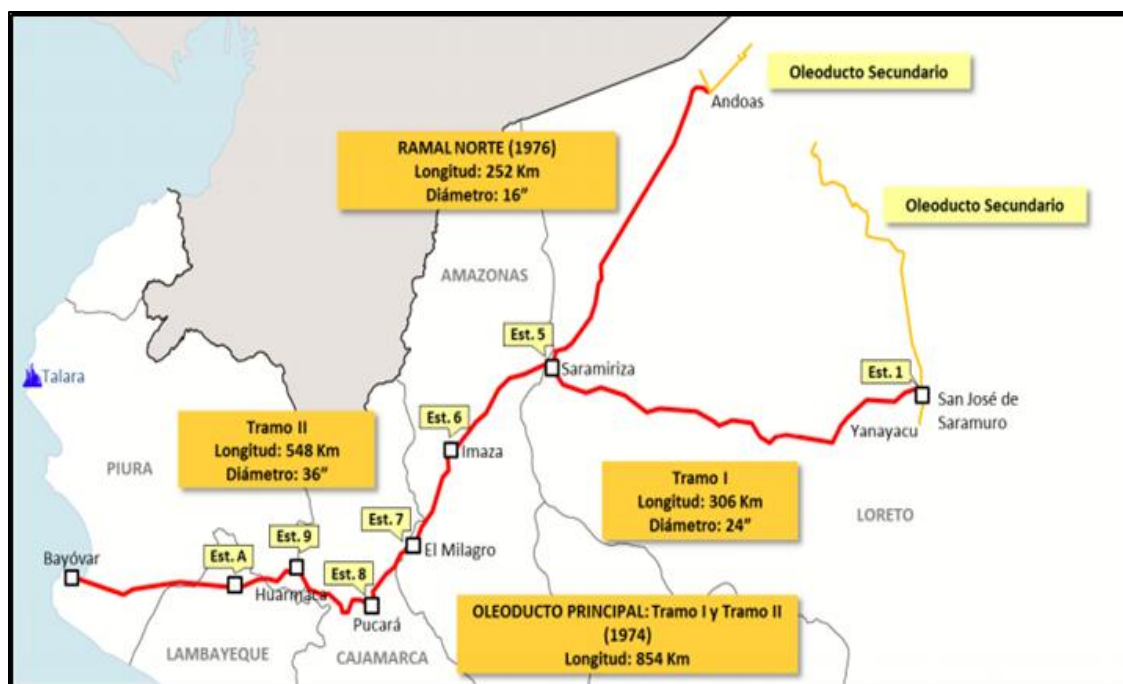
Tabla 2. Impactos biofísicos ocasionados por los derrames de petróleo en el medio ambiente.

Medio	Impactos
Agua	- Aparición del efecto barrera y anegación de áreas no inundables, por la construcción de infraestructura para tratamiento de derrame. - Afecta a los humedales temporales y permanentes, destrucción y contaminación de vertientes de agua. - Contaminación de afluentes por las aguas negras proveniente de derrames de crudo.
Aire	- Contaminación por la permanente evaporación del petróleo derramado con olores fuertes y vapores tóxicos.
Suelo	- Destrucción directa de los suelos debidos a la contaminación por los derrames de petróleo. - Erosión y compactación de los suelos por el tránsito de las personas para tratar los derrame de crudo. - Reducción de la disponibilidad de arena y grava de los lechos de los principales ríos.
Flora	- Destrucción directa de la vegetación del bosque primario y secundario en el área aledaña. - Destrucción de la vegetación de zonas inundables y seminundables. - Fraccionamiento de la estructura del bosque primario y/o secundario. - Alteración en la composición de fitoplancton por las descargas de petróleo. - Alteración y muerte de vegetación acuática por el incremento en la turbidez general por los procesos de tratamiento y recuperación de petróleo.
Fauna	- Modificación y/o de hábitat de fauna terrestre y acuática por el derrame y posterior tratamiento. - Desplazamiento y migración de especies por la destrucción de hábitat. - Alteración de la estructura composicional trófica de insectos. - Modificaciones en los hábitos alimentario y reproductor como producto de la interferencia de actividades de recuperación. - Disminución de especies endémicas y de la diversidad de las comunidades faunísticas. - Reducción de especies de peces, crustáceos y mamíferos. acuáticos, por procesos contaminantes del derrame de crudo. - Disminución y muerte de peces por asfixia. - Muerte por exposición a los componentes tóxicos del petróleo, solubles en agua y por contacto. - Disminución de la resistencia o aumento de infecciones en las especies, especialmente avifauna, por absorción de ciertas cantidades subletales de petróleo. - Incorporación de carcinógenos en la cadena alimentaria.

Fuente: Adaptado de Narváez (2002)

2.2.3. EL OLEODUCTO NORPERUANO (ONP)

El descubrimiento de grandes reservas de petróleo en la región amazónica norte de nuestro país planteó la necesidad de construir un oleoducto desde la selva hasta la costa para el transporte del petróleo. La historia se inició en 1972, cuando el Gobierno encargó a Petroperú, dependiente en aquella época del Ministerio de Energía y Minas, realizar los estudios requeridos para la construcción del Oleoducto Norperuano plantear los contratos con las compañías capaces de efectuar tal obra. La construcción del ONP demandó una gran cantidad de mano obra, solo durante el período de mayor actividad, se requirió la participación de 7,800 trabajadores. Además, gracias a la pericia y experiencia de los mejores constructores de oleoductos del mundo, el tendido de los primeros tubos transportadores solo demoró dos años. Actualmente el transporte de petróleo por este medio permite otorgar valor al petróleo de la selva peruana que a la vez hace viable la generación del canon petrolero en beneficio de los gobiernos locales y regionales de donde se extrae el recurso (Petroperú, 2016).



Fuente: Utilities Perú (2017)

Figura 1. Descripción general del Oleoducto Norperuano por tramos

Como se muestra en la figura 1 el oleoducto principal tiene una longitud de 854 kilómetros (atraviesa costa, sierra y selva). Se divide en dos tramos, el tramo I de 306

kilómetros que unen las estaciones 1 y 5 y el tramo II, que se inicia en la Estación 5, atravesando con éxito las zonas de montaña y de desierto hasta llegar al puerto de Bayóvar. El Ramal Norte tiene una longitud de 252 kilómetros se inicia en la Estación Andoas confluyendo en la Estación 5 con el oleoducto principal (Teresopolis, 2016).

2.2.3.1. Funciones del Oleoducto Norperuano

a. Recepción de crudo

Actividad donde se descarga el crudo que ha sido extraído por las empresas privadas y/o que ha sido refinado, hasta las estaciones I y Andoas, donde se fiscaliza el crudo y posterior descarga desde las barcazas. Luego se separa el crudo del agua con el que se viene mezclado (Bazán, 2017).

b. Almacenamiento

El crudo descargado, es almacenado en tanques hasta que se comience el bombeo de los diferentes tipos de crudo, en las estaciones 5 y Terminal Bayóvar, se clasifica el almacenamiento, según el cliente y según la calidad del crudo, es decir, se separa el crudo del agua, éste se almacena, se realiza una fiscalización del crudo y además un control operativo mediante sistemas SCADA Recepción de Crudo Almacenamiento Transporte Embarque de Crudo previa selección del tanque donde se pueda almacenar según el volumen de crudo existente (Bazán, 2017).

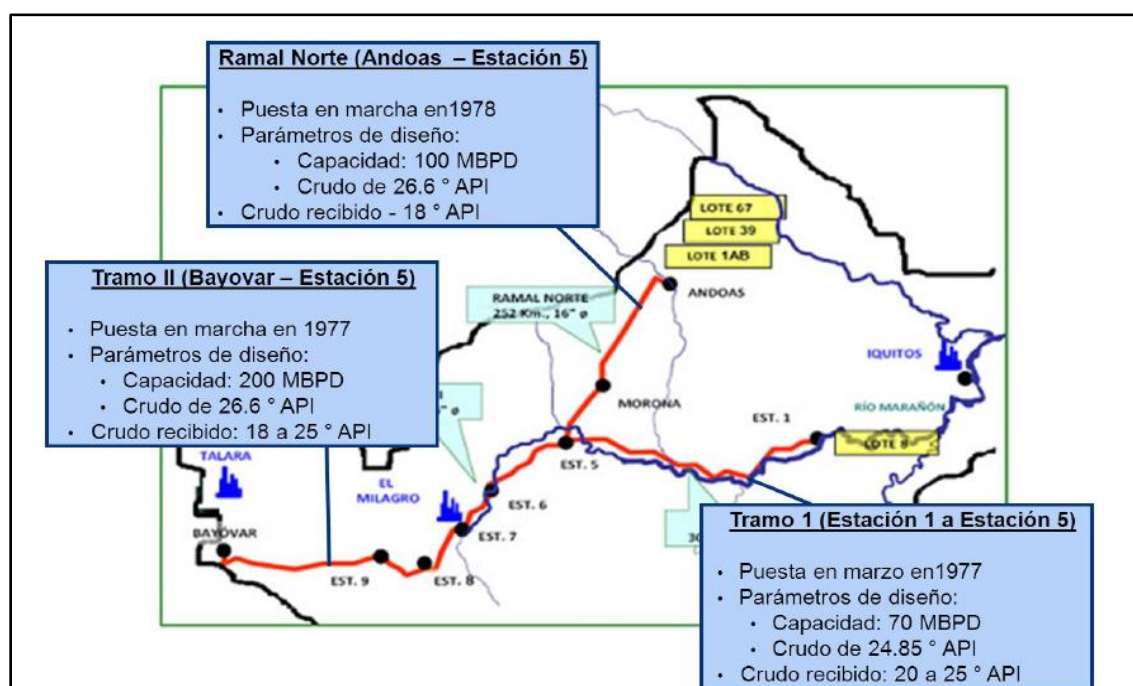
c. Embarque de crudo

Habiendo llegado el crudo al terminal Bayóvar, éste es embarcado en grandes buques provenientes de distintos países. Además también se embarca crudo para ser llevado a refinerías nacionales como son Refinería Talara, Conchán y La Pampilla. Durante esta actividad nuevamente se tiene que fiscalizar el crudo y además se debe tener un plan operativo de embarques (Bazán, 2017).

d. Transporte

La principal actividad y función del Oleoducto Norperuano es llevar el petróleo crudo extraído en la selva norperuana hasta la costa a través de las distintas estaciones.

Durante el transporte se lleva a cabo un proceso de bombeo mediante turbobombas o motobombas, siempre tomando en cuenta los parámetros de operación establecido por Petroperú (Bazán, 2017). Así mismo el oleoducto transporta diferentes tipos de petróleo crudo, cuando se terminó de construir en 1976 fue diseñado para petróleos crudos de entre 24.8 y 26.6 ° API, sin embargo, el crudo que transporta actualmente es más pesado (Petroperú – Wood Mackenzie, 2015). La figura 2 muestra los parámetros de diseño y las características del petróleo crudo que actualmente recibe el Oleoducto Norperuano por tramos.



Fuente: Petroperú – Wood Mackenzie (2015)

Figura 2. Parámetros de diseño del ONP por tramos y características del petróleo crudo actualmente transportados

2.2.4. PROBLEMAS DE DERRAMES DE PETRÓLEO EN EL OLEODUCTO NORPERUANO

En los últimos años los accidentes de derrame de crudo en los diferentes tramos del Oleoducto Norperuano se volvieron noticias recurrentes a nivel nacional siendo este escenario preocupante pues estos accidentes vienen sucediendo en su mayoría en el medio ambiente amazónico que es un lugar frágil y vulnerable a estos, así mismo para que estos accidentes lleguen a suceder diversos factores confluyen tanto ambientales, humanos, políticos, logísticos y de infraestructura.

Bill Powers, ingeniero petrolero de E-Tech International, una firma de consultoría ambiental con sede en Estados Unidos y quien ha analizado las prácticas de extracción en Perú durante años indica que la infraestructura del ONP fue diseñada para durar de 20 a 30 años, no 40 o 50 como lo es actualmente. “Por este motivo es que el oleoducto está viejo y gastado y con poco mantenimiento en todo su tramo, sumado a ellos tenemos que el paisaje por donde pasa el ONP es casi inaccesible y las tareas de monitoreo y reparación por parte de los operadores del ONP no son una prioridad por lo que prevé habrá más derrames. Además agrega que no es la primera vez que la selva amazónica de Perú se ve amenazada por la explotación de hidrocarburos y probablemente no será la última. Desde 2011 se han registrado al menos 20 emergencias como consecuencia de fallas en las tuberías del Oleoducto Norperuano (Scientific American, 2016). Además el organismo supervisor OEFA afirma que los derrames de crudo se deben al deterioro de Oleoducto Norperuano cuyas tuberías transportadoras del crudo están corroídas y la empresa estatal no cumple con el mantenimiento preventivo a los tramos I, II y el Ramal Norte del Oleoducto Norperuano (Diario Gestión, 2016).

Contrario a eso Petroperú precisa que durante el 2016 se registró un aumento sin precedentes en la cantidad y magnitud de los derrames significativos ocurridos, principalmente como resultado de actos de terceros que guiados por intereses políticos y económicos particulares, atentaron contra el ONP ocasionando la paralización total del bombeo de petróleo de la selva norte peruana hacia la costa del país, así como poniendo en riesgo al entorno ambiental y a las comunidades locales, afectando significativamente los ingresos de varias regiones del país por concepto de canon por hidrocarburos. Así, de los 13 derrames registrados en el Oleoducto Norperuano durante el año 2016, 10 fueron provocados por terceros según informes de archivo de instrucción preliminar del OSINERGMIN (Petroperú, 2016).

Así mismo Petroblogger (2017) menciona que como es de esperar en un oleoducto que recorre 854 km, atravesando selvas pantanosas, zonas montañosas, desérticas, lluviosas etc. y que tiene sus instalaciones de las estaciones de bombeo en lugares geográficos de condiciones meteorológicas severas, tiene que tener una serie de problemas que causan o pueden causar daños tanto a la tubería y al derecho de vía así como a sus

equipos e instalaciones, originando gastos y pérdidas. Así mismo describe que las principales causas naturales que originan problemas en el Oleoducto Norperuano son:

- Condiciones meteorológicas severas, como abundante lluvia y humedad.
- Inestabilidad del terreno que producen deslizamientos tensionando a la tubería pudiendo producir roturas de la misma.
- Acción hidráulica de los ríos, erosionando el derecho de vía o descubriendo la cobertura del ducto en los cruces de ríos.
- Agresividad del terreno produciendo corrosión externa a la tubería.
- Compresión de rocas sobre la tubería produciendo abolladuras y/o fisuras.
- Corrosión interna causada por bacterias anaeróbicas por la corrosividad del agua que arrastra el petróleo crudo.

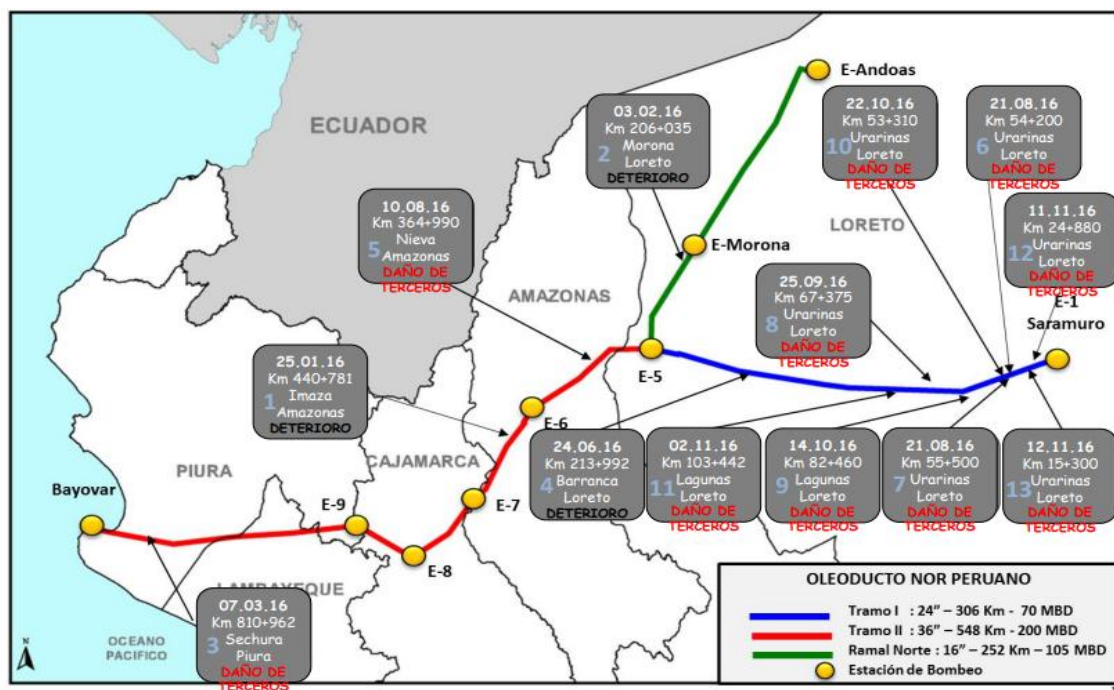
Tabla 3. *Numero de derrames de petróleo en el Oleoducto Norperuano del año 2012 al 2016*

Tipo de derrame	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Atentados	4	1	6	4	10	25
Conexión clandestina	4	1	4	3	1	13
Retiro de recubrimiento			1			1
Corte de tubo			1	1	9	11
Fallas geológicas	1	1	3	1	1	7
Deslizamiento de terreno	1		1		1	3
Asentamiento		1	2	1		4
Mantenimiento	0	0	0	3	2	5
Corrosión				3		3
Abrasión					1	1
Soldadura					1	1
Ubicación del derrame						
Tramo I			7		9	16
Tramo II	5	2	7	8	3	25
Ramal norte					1	1

Fuente: Petroperú (2016)

2.2.4.1. Cronología de los últimos derrames de petróleo sucedidos en el Oleoducto Norperuano

En la figura 3 se muestran los últimos derrames de petróleo acontecidos en el oleoducto Norperuano para el año 2016 y algunos sucedidos en los años 2017 y 2018.



Fuente: MINEM (2017)

Figura 3. Situación del Oleoducto Norperuano, derrames en el año 2016

- **12 de Julio del 2017:** Petroperú informó nuevo derrame de petróleo en Loreto. Petroperú informó sobre un nuevo derrame de petróleo en la región Loreto, exactamente a la altura del kilómetro 58 del tramo I del Oleoducto Norperuano (ONP), localizado en el distrito de Urarinas. El daño es "un corte de 15 centímetros realizado por terceros, La compañía recalcó que 25 pobladores de la comunidad Nueva Alianza que viven cercanos a lugar, en primera instancia, se negaron a que el personal de Petroperú se acercaran a reparar los daños (Diario Perú 21, 2017).
- **19 de septiembre del 2017:** El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) informó que ha iniciado las acciones de supervisión ante dos nuevos derrames de petróleo que habrían ocurrido a la altura del kilómetro 50 del Tramo I del Oleoducto Norperuano (ONP), en la comunidad de Santa Rosa, distrito

de Urarinas, provincia y departamento de Loreto, los dos cortes en el ONP habrían sido realizados por terceros (Diario El Comercio, 2017)

- **28 de febrero del 2018:** El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) reportó un nuevo derrame a la altura del kilómetro 20 del Tramo 1 del oleoducto, cerca de la comunidad nativa de San Pedro, en el municipio de Urarinas, en la región amazónica de Loreto (Diario Gestión, 2018)
- **25 de Mayo del 2018:** La empresa Petroperú confirmó el derrame de petróleo a la altura del kilómetro 12 del Ramal Norte del Oleoducto Norperuano (ONP), cerca al distrito de Andoas, provincia Datem del Marañón (Loreto). El hecho fue reportado el pasado 25 de mayo por las comunidades nativas ubicadas en el lote 192 tras la aparición de manchas oleosas a lo largo del río Pastaza (Diario El Comercio, 2018).

2.2.5. IMPACTOS DE LOS DERRAMES DE PETRÓLEO EN LA AMAZONIA NORPERUANA

En un artículo de la revista Scientific American (2016) se hace mención que desde el año 2011 se han registrado al menos 20 emergencias como consecuencia de fallas en las tuberías del Oleoducto Norperuano, así mismo menciona que la Amazonia Peruana es tremendamente compleja y diversa siendo una parte del mundo de la que no se sabe mucho, conocer los impactos biológicos por derrames de petróleo que ocurren ahí es difícil porque tenemos muy poca información de lo que hay ahí, para empezar. Así mismo en el año 2016 el entonces ministro del Ambiente, Manuel Pulgar-Vidal, señaló que para restaurar la flora y fauna de las áreas afectadas por los derrames de petróleo ocurrido en la amazonia norperuana tomara por los menos un tiempo de un año (Diario El Comercio, 2016).

Ante esto algunos científicos permanecen escépticos como Tony Morí, botánico peruano especialista en flora y vegetación amazónica, que piensa que las acciones de remediación pueden no ser suficientes para revertir el daño; “situaciones como esta tienden a destruir paisajes naturales por completo y alterar procesos básicos en la plantas, lo cual afecta a la fauna que depende de ella como fuente de alimento” señala (Scientific American, 2016).

2.2.5.1. Impactos en la fauna

Aún no se han evaluado los efectos del desastre en la fauna silvestre, pero investigaciones recientes dan pistas sobre cuál podría ser su alcance real. Antoni Rosell Melé, químico ambiental de la Universidad Autónoma de Barcelona, documentó por primera vez que los tapires y otras especies de mamíferos ingieren suelos y aguas contaminadas con compuestos de petróleo en áreas de la amazonia peruana directamente dañadas por vertidos de crudo. “Los ecosistemas amazónicos son pobres en nutrientes y para superar ese déficit los animales buscan salitres naturales”, dice Rosell Melé. “Pero algunos vertidos de petróleo también pueden funcionar como salitres antrópicos porque el agua extraída de los yacimientos petroleros es extremadamente salina pues ha ido disolviendo las rocas del subsuelo durante años” (Scientific American, 2016).

Muchos de esos animales también son cazados por las comunidades indígenas de la región, solo dentro de Loreto existen 500 territorios indígenas y cinco reservas para pueblos en aislamiento voluntario que han rechazado cualquier contacto exterior, ahora es muy probable que no tengan peces o animales terrestres para alimentarse, ni agua dulce para beber de igual manera, el ingreso económico de las familias de la zona podría verse afectado. En una conferencia realizada el pasado 24 de febrero en Lima, Edwin Montenegro, presidente de la Organización Regional de los Pueblos Indígenas de la Amazonia Norte del Perú menciona que “las comunidades que tienen (parcelas) en las orillas del río venden sus plátanos; ahora que está totalmente dañado ¿dónde lo van a vender? nadie va a querer comprar plátano ahí, está todo contaminado” (Scientific American, 2016).

2.2.5.2. Riesgo en áreas protegidas

Los derrames también podrían empeorar la situación en que se encuentran varias áreas protegidas que han sido contaminadas con petróleo en años recientes, como la reserva natural Pacaya Samiria, una de las más grandes de Perú a pesar de su estatus, las actividades extractivas en el país sudamericano solo están prohibidas en los parques nacionales, la más alta categoría de protección. Toda la amazonia es un gran lote petrolero”, alerta Patricia Álvarez Loayza, ecóloga y coordinadora regional del Parque Nacional del Manu para la Red TEAM, asociación internacional que monitorea ecosistemas

tropicales. “Según la ley peruana, los subsuelos le pertenecen al estado; si hay petróleo en un área protegida, se explotará”. De hecho, Jenkins ha publicado en la revista PLOS ONE que hasta 2008 los lotes petroleros invadían las fronteras de 20 áreas protegidas destinadas a conservar la biodiversidad (Scientific American, 2016).

2.2.6. TECNICAS CONVENCIONALES PARA LIMPIAR DERRAMES DE PETRÓLEO

2.2.6.1. Contención mecánica

La contención de hidrocarburos después de un derrame debe llevarse a cabo tan rápido como sea posible con la finalidad de minimizar los daños provocados en los ecosistemas. Los hidrocarburos derramados en un medio acuático tienden a extenderse por efecto de los vientos y las corrientes pudiendo alcanzar zonas críticas. Uno de los equipos más comúnmente usados 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-Rodríguez, 2008).

2.2.6.2. Recuperación de hidrocarburos

Posterior a la contención, otros equipos llamados skimmers o recolectores son usados para la recuperación de hidrocarburos, los recolectores pueden ser de tres tipos: vertedero, adhesión o inducción. Los recolectores de vertedero poseen un vertedero situado en la interface agua-hidrocarburo, el hidrocarburo flotante en la superficie del agua se derrama sobre el vertedero y es atrapado en un colector de donde posteriormente es bombeado para su recuperación. Los dispositivos de adhesión consisten en estructuras con superficies oleófilas como discos, cabos, cepillos o tambores.

Los hidrocarburos adheridos son extraídos para su almacenamiento, 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. El hidrocarburo es succionado a través de cabezas flotantes y bombeado a los tanques de almacenamiento a pesar de que los recolectores de succión son muy eficientes, son vulnerables a ser obstruidos por los desechos y requieren vigilancia constante. Los recolectores de succión funcionan mejor en aguas tranquilas donde el petróleo ha sido contenido mediante barreras mecánicas (USEPA, 1999).

2.2.6.3. Uso de dispersantes químicos

Los dispersantes son sustancias químicas que contienen surfactantes u otros compuestos que descomponen sustancias líquidas en pequeñas gotitas lo cual facilita su dispersión en la columna de agua y su posterior descomposición por procesos naturales, estos son aplicados cuando los métodos convencionales de contención y recuperación de hidrocarburos se ven limitados por condiciones climatológicas.

El uso de dispersantes evita que la mancha de hidrocarburos se extienda, por lo que contribuye a la protección del medio ambiente y otras zonas sensibles además de potenciar la biodegradación, en contraste, acentúa la exposición local de los organismos a los hidrocarburos, por estas razones, debe considerarse el uso de dispersantes sólo en condiciones meteorológicas que impidan el uso eficiente de métodos de contención mecánica (Silos-Rodríguez, 2008).

2.2.6.4. Tratamientos biológicos

La biodegradación de hidrocarburos ocurre lentamente de manera natural, sin embargo, la remoción de hidrocarburos debe realizarse de manera rápida para minimizar daños ambientales. Las tecnologías de biorremediación 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).

La bioestimulación consiste en agregar nutrientes como fósforo y nitrógeno en un ambiente contaminado para estimular el crecimiento de los microorganismos que descomponen los hidrocarburos. Estos nutrientes son limitantes para el crecimiento de las poblaciones nativas de microorganismos, por lo que al agregarlos se incrementa

potencialmente la velocidad de biodegradación. La bioaumentación es la adición de microorganismos degradadores de hidrocarburos a la población nativa existente. En algunas ocasiones, las bacterias degradadoras no existen de manera natural en el área a tratar, por lo que especies de estos microorganismos deben ser “sembradas” en el lugar (USEPA, 1999)

2.2.6.5. Incineración *In Situ*

Los aspectos fundamentales de la quema in situ son similares a los de cualquier fuego, es decir, para que el hidrocarburo se encienda, se necesitan combustible, oxígeno y calor. En el caso de un derrame de hidrocarburos, los vapores de hidrocarburo proporcionan el combustible que promueve la combustión. Los hidrocarburos frescos generalmente se encienden una vez que se aplica una fuente de encendido.

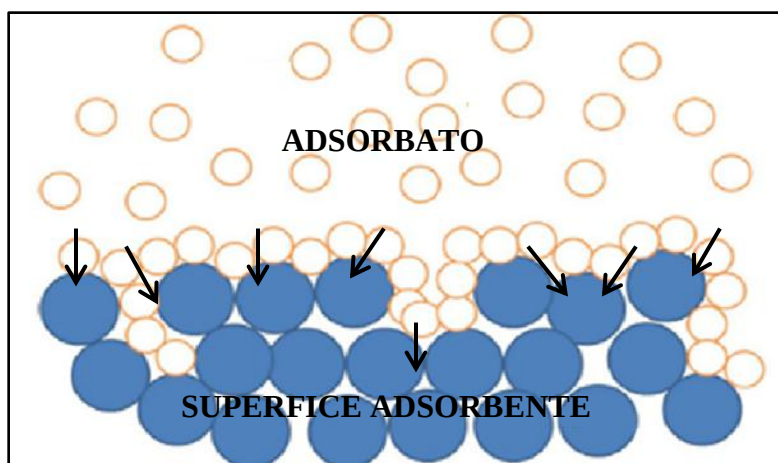
A medida que el vapor se quema, el calor provoca que se liberen más vapores, lo que se conoce como vaporización, el proceso de vaporización de hidrocarburos debe ser suficiente para producir una quema continua, en la cual las tasas de vaporización y de quema son relativamente iguales. La tasa de quema se limita por la cantidad de oxígeno disponible y el calor irradiado hacia el hidrocarburo, la tasa de quema también depende del tipo de hidrocarburo y su grado de meteorización, por ejemplo, por la evaporación; si no hay suficientes vapores, el hidrocarburo no encenderá o una vez encendido, el fuego se extinguirá rápidamente (IPIECA, 2016).

2.2.7. LA ADSORCIÓN

La adsorción es la transferencia de un soluto en un gas o líquido hacia la superficie de un sólido en donde el soluto es retenido como resultado de atracciones intermoleculares con las moléculas sólidas. Este proceso es muy semejante al de absorción, con la diferencia de que en lugar de mezclarse completamente en la otra fase para estar en forma homogénea en su nuevo estado, simplemente se adhiere a las superficies el sólido adsorbente. La sustancia que se concentra en la superficie se denomina adsorbato y la que es capaz de concentrar otra en su superficie se conoce como adsorbente (Izquierdo et al. 2004).

Así mismo este fenómeno es de gran importancia debido a sus aplicaciones múltiples en la industria química y en el laboratorio. Es importante señalar que la adsorción

no se limita a las interfases sólido-líquido o sólido-gas sin embargo estos son los casos más importantes desde el punto de vista de las aplicaciones (Bottani et al. 2006).



Fuente: Adaptado de Wahi et al. (2013)

Figura 4. Mecanismo de adsorción.

2.2.7.1. Tipos de adsorción

Cabe distinguir tres tipos de adsorción según el tipo de atracción entre el adsorbato y el adsorbente, adsorción física o fisisorción, de naturaleza química o quimisorción y de tipo eléctrico o intercambio iónico (Romero, 2000).

a. Adsorción Física

La adsorción física es cuando las fuerzas involucradas son del tipo de Van der Waals, el adsorbato está retenido débilmente sobre la superficie y solamente es necesario elevar la temperatura para remover las especies adsorbidas. La adsorción física es generalmente rápida y reversible alcanzando una condición de equilibrio entre el adsorbato adsorbido y el disuelto, 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, 2000). En una adsorción física el adsorbato puede removerse de la superficie (desorción) sin producir ningún cambio en la estructura del adsorbente (Bottani et al. 2006).

b. Adsorción Química

En la adsorción química 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).

c. Adsorción por Intercambio iónico

La adsorción por intercambio iónico, a menudo se le llama adsorción por intercambio, es un proceso mediante el cual los iones de una sustancia se concentran en una superficie como resultado de la atracción electrostática en los lugares cargados de la superficie. Se debe 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, 2000).

2.2.7.2. Bioadsorción

El término bioadsorción se ha empleado para describir el fenómeno de captación pasiva de sustancias contaminantes, basado en la propiedad que ciertos tipos de biomásas inactivas o muertas poseen para enlazar y acumular diversos tipos de contaminantes, algunos tipos de bioadsorbentes son de amplio espectro, es decir, que no son selectivos para un tipo de contaminante en particular, mientras que otros pueden ser específicos para ciertos tipos de contaminantes, la bioadsorción es una técnica alternativa a los métodos convencionales para el tratamiento de diferentes contaminante. Es por esto que se ha intensificado la utilización de materiales de origen biológico, tales como: algas, hongos, bacterias, restos de mariscos, restos agrícolas, etc., los cuales se encuentran en gran abundancia y son fácilmente transformables a bioadsorbentes. Una de las ventajas del uso de biomateriales como adsorbentes es que son abundantes en la naturaleza y están disponibles a un muy bajo costo (Rafatullah et al. 2010).

2.2.7.3. Adsorbentes de petróleo

Generalmente un adsorbente es un material sólido e insoluble 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 (ASTM F726, 2012). Los materiales adsorbentes pueden actuar por adsorción o menos habitualmente por absorción. 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).

Tabla 4. Consideraciones de uso para diferentes tipos de materiales adsorbentes

Tipo de adsorbente	Tipo de material	Consideraciones para su uso
Sintético	Espuma de Poliuretano	Altamente oleofílico/hidrofóbico. Obtenible de formas diversas: Rollos, papel, mantas. No son biodegradables pero ambientalmente son seguros (inertes).
	Espuma de Formaldehído de Urea	
	Fibra de Polietileno	
	Fibra de Polipropileno	
	Poliestireno en polvo	
Orgánico	Paja	Biodegradable
	Turba	Se utiliza para inmovilizar petróleo en áreas ambientalmente sensibles, para proteger la vegetación y la vida salvaje.
	Fibra de coco y cacahuete	Algunos productos se tratan para adquirir propiedades oleofílicas.
	Corcho o cortezas de árboles	Algunos se hunden rápidamente cuando se empapan.
	Fibra de celulosa	Generalmente los materiales que se utilizan sueltos son difíciles de recuperar.
Inorgánicos	Mazorca de maíz	
	Perlita	
	Vermiculita	Generalmente baratos.
	Lana de vidrio	Difícil y peligroso de aplicar.
	Cenizas volcánicas	

Fuente: Adaptado de Gobierno de Canarias (2005)

ASTM-F726 (2012) clasifica los materiales adsorbentes en cuatro tipos y de acuerdo a la forma que estos presentan:

- **Adsorbente de tipo I (rollo, película, lámina, almohadilla, manta, tela)** - un material con longitud y anchura mucho mayor que su espesor y que tiene una forma lineal y una resistencia suficiente para ser manipulada ya sea saturada o no saturada.
- **Adsorbente de tipo II (suelto)** - un material no consolidado, en particular, sin forma y resistencia suficientes para ser manipulado excepto con palas y equipo similar.
- **Adsorbente tipo III**
 - c.1 IIIa**, almohadillas- material adsorbente contenido por un tejido exterior o malla que tiene permeabilidad al aceite, pero con aberturas suficientemente pequeñas para retener sustancialmente el material adsorbente dentro del tejido o malla.
 - c.2 IIIb**, 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.
- **Unidad de aglomeración de tipo IV**- conjunto de hilos, redes abiertas u otras formas físicas que dan una estructura abierta que impide mínimamente la intrusión en sí de los aceites de alta viscosidad. Normalmente para uso con aceites viscosos, típicamente por encima de 10.000 cP de viscosidad. Dichos aceites se mantienen entonces en esta estructura permitiendo el manejo del aceite / estructura compuesto (pompones).

2.2.7.4. Ventajas y desventajas de los adsorbentes según su forma

Se comercializan diferentes formas de adsorbentes según su composición y uso previsto aunque en general entran dentro de una de las cuatro categorías anteriormente mencionadas. En la tabla 5 se detallan las ventajas y desventajas que ofrecen los diferentes tipos de adsorbentes según su forma y naturaleza del material.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de las diferentes formas de adsorbentes

Tipo	Materiales	Ventajas	Desventajas
II	Orgánico: incluidos corteza, turba, serrín, pulpa de papel, corcho, plumas de gallina, paja, lana y cabello humano.	A menudo abundante de forma natural o ampliamente disponible como subproducto de residuo de procesos industriales.	Difícil de controlar; el viento puede esparcirlo. Difícil de retirar. Puede resultar difícil bombear la mezcla de hidrocarburos y adsorbente.
	Inorgánico: vermiculita y piedra pómez.	El coste puede ser bajo. Ideal para proteger la fauna y flora.	Más limitaciones para desechar la mezcla de hidrocarburos y adsorbente en comparación con los hidrocarburos únicamente.
	Sintético: principalmente Polipropileno.		
III	Existe la posibilidad de encerrar en mallas o redes todos los materiales sueltos mencionados anteriormente.	Más fácil de desplegar y retirar que en el caso del adsorbente suelto La barrera encerrada presenta mayor área superficial que la barrera continua.	La resistencia estructural limitada por la resistencia de la malla o red. Las barreras orgánicas pueden saturarse y hundirse rápidamente. La retención de hidrocarburos está limitada
		Almacenamiento a largo plazo.	
I	Sintético: principalmente polipropileno.	Relativamente sencillo de desplegar y retirar. Posibilidad de obtener una elevada relación de recolección de hidrocarburos si se utiliza a pleno rendimiento.	Eficiencia limitada para hidrocarburos meteorizados o más viscosos. No se descompone con rapidez; esto limita las opciones de desecho.
IV	Sintético: principalmente polipropileno.	Eficaz sobre hidrocarburos meteorizados y más viscosos.	Menos eficaz sobre hidrocarburos frescos ligeros e intermedios.

Fuente: Adaptado de ITOPF (2012)

2.2.8. LA GRAMINEA *Brachiara decumbens*

Es una planta vigorosa y bastante agresiva que florece y fructifica en abundancia durante toda la época del año, forma estolones que le permite anclarse bien en el suelo y competir con otros pastos, por esta particularidad se establece rápidamente en el terreno en forma densa, impidiendo cualquier proceso de erosión, por lo que es la preferida para ser sembrada en terrenos inclinados. Crece desde 0 hasta 2 200 msnm, está muy bien adaptada

a clima cálido y es resistente a la sequía y a la quema; prospera bien en zonas de alta precipitación; es resistente al pisoteo y soporta bien las condiciones de suelos ácidos, ricos en hierro y aluminio y pobres en nutrientes; requiere suelos de buen drenaje (Olivera et al. 2006).

Además constituye en la base de la alimentación de muchos de los sistemas de producción ganadera en el trópico, por sus altos rendimientos en materia seca y capacidad de pastoreo (Ecured, 2015); es un pasto muy agresivo de alta producción y por eso es recomendable la siembra en terrenos fértiles, que le permita expresar su potencial, sin embargo también da resultados en los suelos pobres soporta 4 – 5 meses de época seca, pero necesita por lo menos 800 mm de lluvia por año y produce mejor en 1000 mm o más.

Tabla 6. Descripción taxonomía de la gramínea *Brachiara decumbens*

Taxonomía	
Reino	Plantea
División	Magnoliophy
Clase	Magnoliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Bracharia</i>
Nombre Científico	<i>Brachiara decumbens</i>

Fuente: Adaptado de Ecured (2015)

2.2.8.1. Descripción morfológica

Esta especie se caracteriza por ser una planta herbácea, perenne, semierecta a postrada, de 30 a 100 cm de altura. Las hojas miden entre 20 y 40 cm de largo y de 10 a 20 mm de ancho y están cubiertas por tricomas. Presentan bordes duros y ásperos, estas son de color verde oscuro, principalmente en el primer año, debido al alto contenido de clorofila (Olivera et al. 2006).



Fuente: Feedipedia (2017)

Figura 5. Gramínea *Brachiaria decumbens*

2.2.8.2. Producción de biomasa

Existen estudios en cuanto a la producción de biomasa por parte de la *Brachiaria decumbens*, (Miranda, 2009) en su tesis “productividad de seis gramíneas forrajeras” encontró una producción total de biomasa fresca de 15,172 kg/ha, un peso en seco de 7,388 kg/ha concluyendo que se obtiene diferentes resultados en otros estudios pues la calidad de *Brachiaria decumbens* es variable, dependiendo de la precipitación y de las condiciones de fertilidad del suelo.

Así mismo Rincón et al. (2008) realizaron estudios de producción forrajeras de la *Brachiaria decumbens* obteniendo resultado de producción de biomasa de hojas de 1.200 kg MS/ha y de tallos de 804 MS/ha, determinando que la producción de biomasa de hojas fue superior significativamente en la medida que se aumentó la frecuencia de defoliación, en contraste una producción de hojas fue de, 712, 1.256 y 1.912 kg MS/ha en los cortes realizados a los 14, 28 y 42 días respectivamente; Contreras (2006) encontró una producción de hoja en promedio de 1724.20 kg ms/ha. Observando que con una altura de la planta de 35 – 40 cm se obtiene mayor cantidad de hojas, además observo que en verano se obtiene mayor cantidad de hojas estoy por la mayor humedad y temperatura que existe en dicha estación, favoreciendo esto al rápido crecimiento de las plantas

2.2.8.3. Problemas invasivos en la amazonia

En la amazonia tropical las especies de *Bracharia* constituyen una de las principales plantas invasoras de los cultivos forestales y de los frutales tropicales y subtropicales además de constituir un importante factor de reducción de la biodiversidad en reservas de formaciones vegetales naturales (Pitelli e Pavani, 2005). En la amazonia brasileña existe problemas de invasión de los campos amazónicos por esta especie de gramínea, en investigaciones sobre la *Brachiara decumbens* y su capacidad invasora hacen mención que en Brasil existen gran mayoría de Unidades de Conservación que se encuentra hoy en una situación de abandono. Paralelamente a eso existen especies exóticas de gramíneas sobre todo las de origen africano, como la *Brachiaria* que están invadiendo esas unidades de conservación y sustituyendo rápidamente a las especies nativas de su riquísimo estrato herbáceo-subarbustivo, dentro de algunos años, o décadas que sean, tales unidades se transformarán en verdaderos pastos invasores (Coutinho, 2000).

En la actualidad ya puede ser encontrada en la mayoría del territorio amazónico, su crecimiento y expansión son tan agresivos que se advierte al riesgo inminente de toma del estrato herbáceo por esta y otras gramíneas africanas en todos los campos amazónicos, reduciendo drásticamente la diversidad original. La infestación por *Brachiaria* puede modificar el régimen de incendios, intensificándolo, tanto por la rápida acumulación de biomasa y elevada inflamabilidad de las capas de hojas secas que se acumulan junto al suelo, como por el hecho de bloquear el proceso sucesional que podría llevar a formaciones de mayor complejidad, con retención de humedad y por lo tanto menor susceptibilidad a la propagación de incendios (Whelan, 1995; Pivello, 2005).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Alelopatía:** Fenómeno biológico por el cual un organismo produce uno o más compuestos bioquímicos que influyen en el crecimiento, supervivencia o reproducción de otros organismos.
- **API:** Es una medida de densidad que, en comparación con el agua a temperaturas iguales, precisa cuán pesado o liviano es el petróleo.
- **Estolones:** Brote lateral que nace en la base del tallo de algunas plantas herbáceas y que crece horizontalmente con respecto al nivel del suelo.
- **Fuerzas Van Der Waals:** Son fuerzas de estabilización molecular omnipresentes, también conocidas como atracciones intermoleculares o de largo alcance y son las fuerzas entre moléculas (fuerzas entre molécula - molécula).
- **MBDP:** Miles de barriles por día.
- **Meteorización:** Conjunto de procesos externos que provocan la alteración y disgregación de las rocas en contacto con la atmósfera.
- **Skimmers:** Diferentes tipos de recolectores de petróleo empleado en derrames de petróleo.
- **SCADA:** Acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.
- **Viscosidad:** La viscosidad es una propiedad física característica de todos los fluidos que emerge de las interacciones entre las partículas del fluido que se mueven a diferentes velocidades, provocando una resistencia a su movimiento.
- **Yacimiento:** Lugar en el que se encuentran de forma natural minerales, rocas o fósiles, especialmente cuando puede ser objeto de explotación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación correspondió a una investigación experimental ya que busca desarrollar una interpretación correcta del fenómeno estudiado mediante la manipulación de ciertas variables en condiciones de laboratorio controladas.

Así mismo es exploratorio ya que el tema a examinar es poco estudiado y no ha sido abordado antes, la revisión literaria nos reveló que únicamente hay ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población para ésta investigación estuvo constituida por la gramínea *Brachiara decumbens* que se encuentran ubicados en los campos agrícolas del distrito de Neshuya, Provincia de Padre Abad, Departamento de Ucayali.

La muestra estuvo constituida por 10 kg de la gramínea *Brachiara decumbens* recolectada entre los meses de Junio y Octubre del 2017.

3.2.1 Ubicación donde se recolecto la muestra

La recolección de la gramínea *Brachiaria decumbens* se realizó en los campos agrícolas ubicados en la margen derecha del kilómetro 09 de la carretera que une los distritos de Neshuya y Curimana, Provincia de Padre Abad, Departamento de Ucayali, con coordenadas 546518.74 mE y 9072215 mS. cuya ubicación se muestra en la figura 6.



Fuente: Google earth (2018)

Figura 6. Ubicación de la zona de recolección de la muestra

3.2.2 Ubicación donde se realizó las pruebas experimentales

El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Transformación Química Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali con coordenadas 498884.35 mE y 9050923.72 mS cuya ubicación se muestra en la figura 7.



Fuente: Google earth (2018)

Figura 7. Ubicación donde se ejecutaron las pruebas experimentales

3.3. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Formato de recolección de datos

Para recolectar los datos y observaciones realizadas en la experimentación se empleó un formato de apuntes cuya estructura se muestra en la figura 16 del correspondiente anexo.

3.3.2. Materiales y equipos

a. Materiales experimentales

- Bioadsorbente (Hojas secas de *Brachiara decumbens*)
- Petróleo crudo 24 ° API
- Adsorbente comercial sintético (Polipropileno)
- Adsorbente comercial orgánico

b. Materiales de laboratorio

- Mandil de laboratorio
- Guantes quirúrgicos, gorras y mascarillas
- Crisoles, pinzas, tijeras.
- Celda de adsorción de 18 x 10 cm
- Cesta de adsorción de 15 x 5,5 cm.
- Celda de drenaje de 15 x 7,5 cm
- Malla metálica de 0,2 x 0,2 cm
- Bolsas herméticas
- Recubrimiento de vidrio de 18,5 x 18,5 cm
- Regla stainlees x 20 cm
- Vernier
- Cortador de papel

c. Materiales de escritorio

- Cámara fotográfica
- Regla

- Plumones indelebles

d. Materiales de Campo

- Machete
- Costal

e. Equipos de laboratorio

- Balanza analítica RADWAG
- Estufa de aire forzado ESCO – ISHOTERM

3.4. PROCEDIMIENTO

3.4.1. En el campo

Se ubicó a las gramíneas *Brachiara decumbens* que proliferaron sin intervención humana para acopiar las muestras según la cantidad prefijada. Se tuvieron en cuenta para la recolección la frondosidad y buen estado de las plantas, seguidamente se secó las hojas al sol para eliminar cualquier posible humedad y se almacenó en costales para ser transportadas en la brevedad posible al laboratorio.

3.4.2. En laboratorio

3.4.2.1. Acondicionamiento de la muestra

Una vez en el laboratorio donde se procedió a separar a la gramínea *Brachiaria decumbens* de otras malezas, polvo e insectos presentes en el para posteriormente seleccionar y recolectar las hojas que presentaron el mejor aspecto.

3.4.2.2. Secado de las hojas de la gramínea *Brachiaria decumbens*

Esta etapa consistió en eliminar el agua presente en las hojas de la gramínea *Brachiaria decumbens* para disminuir su oleofobicidad, para ello se colocaron las muestras a secar en sobres acondicionados, el secado se realizó con una estufa de aire forzado a 60 °C por un periodo de 24 horas.

3.4.2.3. Obtención y selección del bioadsorbente por tamaño

En esta etapa las hojas secas de la gramínea *Brachiaria decumbens* fueron seccionadas longitudinalmente con el fin de obtener 06 tipos de bioadsorbentes de 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 y 2,50 cm, este proceso se realizó con la ayuda de un cortador de papeles previamente graduado y el número de veces necesarias hasta obtener la cantidad de material requerido para la experimentación, una vez seccionadas las muestras bioadsorbentes fueron colocadas dentro de bolsas herméticas previamente rotuladas y etiquetadas para evitar el contacto con la humedad, partículas suspendidas en el ambiente y la mezcla entre bioadsorbentes de diferente tamaño. Debido a que normalmente una planta de gramínea *Brachiaria decumbens* produce hojas de diferente ancho (1,00 – 2,00 cm), clasificar estas uniformemente de acuerdo a esta característica puede ser tardado y complicado por lo tanto poco funcional, razón por la cual se decidió seccionar las hojas en forma longitudinal ya que esta operación resultó más práctica para aplicaciones reales.

3.4.2.4. Caracterización del bioadsorbente

Se caracterizó el bioadsorbente determinándose su humedad y contenido de fibra, para esto se enviaron 250 gramos de hojas secas en empaques especialmente acondicionados al laboratorio de análisis fisicoquímicos de alimentos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina el cual realizó los correspondientes análisis a modo de servicio.

3.4.2.5. Obtención y análisis del petróleo crudo

El petróleo crudo se obtuvo a modo de donación por parte de la empresa Petróleos del Perú S.A (Petroperú) quien es la encargada de la operación del Oleoducto Norperuano y de diferentes refinerías distribuidas en el país. El análisis de petróleo se realizó a modo de servicio por parte del laboratorio de la facultad de petróleo, gas natural y petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.4.2.6. Procedimiento de los ensayos de capacidad de adsorción

Para determinar la capacidad de adsorción de los adsorbentes ensayados se adaptó el método ASTM F726-12 “método de prueba estándar para rendimiento sorbente de los

adsorbentes” en su apartado “Oil Adsorption- Short Test”. La principal utilidad de esta metodología es la de comparar capacidades de adsorción para diferentes materiales en el menor tiempo posible.

En primer lugar el procedimiento consistió en llenar la celda de adsorción con petróleo crudo hasta lograr un capa de espesor de 03 cm o si el ensayo lo requería se usó una capa líquida de petróleo que fuese por lo menos tan gruesa como la muestra adsorbente a ensayar, luego de culminada esta operación se procedió a cubrir la celda de adsorción con una placa de vidrio para evitar la entrada en ella de polvo y material particulado en suspensión. A continuación se pesó una cantidad aproximada de 04 gramos de adsorbente a ensayar para colocarlo de manera uniforme en la cesta de adsorción, previamente impregnada con petróleo crudo, seguido a esto se colocó con mucho cuidado la cesta de ensayo dentro de la celda de adsorción permitiendo que la muestra adsorbente flotara libremente en el petróleo crudo y cerciorándose siempre de colocar la placa de vidrio para aislar el experimento del medio ambiente.

Transcurrido el tiempo determinado de ensayo se procedió a extraer la cesta de adsorción con el adsorbente dentro para realizar el proceso de drenado por un tiempo de 02 min $\pm$ 3 s. Luego se transfirió la muestra bioadsorbente a un recipiente previamente tarado atrapando así mismo cualquier goteo adicional de la muestra ensayada, para ser transferida inmediatamente a la balanza. Se anotó la mayor parte de detalles observables durante los ensayos.

3.4.2.7. Adicionalidad

Con el propósito de ahondar en nuestra discusión y como curiosidad científica se replicó el diseño experimental para dosificaciones de 02 y 06 gramos para el bioadsorbente a base de las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens* que presento los mejores resultados, esto para evaluar si la dosis inicial afecta en la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API.

3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS

3.5.1. Determinación de fibra y humedad del bioadsorbente

El análisis de fibra total del bioadsorbente se realizó en el laboratorio de análisis fisicoquímicos de alimentos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina empleando el método AOAC 920.98. El análisis de humedad del bioadsorbente se realizó en el laboratorio de análisis fisicoquímicos de alimentos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina empleando el método AOAC 950.46. Los resultados de ambos análisis se muestran en el anexo correspondiente.

3.5.2. Determinación de la gravedad específica del petróleo crudo

En análisis de gravedad API se realizó en el laboratorio de la Facultad de petróleo, gas natural y petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería empleando el método ASTM D287-12b. Los resultados del análisis se muestran en el anexo correspondiente.

3.5.3. Determinación de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API

Para determinar la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API de todos los diferentes materiales ensayados en la presente investigación se aplicó la siguiente fórmula:

$$C_{ad} = \frac{S_f - S_o}{S_o}$$

Dónde:

C_{ad} : Capacidad de adsorción de petróleo (g/g)

S_o : Peso en seco del adsorbente (g)

S_f : Peso final del adsorbente (g)

3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO

Se empleó un diseño factorial completamente al azar de dos factores con 06 y 03 niveles y tres repeticiones por tratamiento con un nivel de significancia de 0,05 utilizando el análisis de varianza (ANOVA). Los tratamientos estuvieron compuestos por la intersección entre los factores longitud del bioadsorbente (0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 y 2.50 cm) y tiempo de adsorción (10, 15 y 20 minutos) como se puede observar en la tabla 7.

Para los materiales comerciales empleados para la comparación y para el ensayo adicional se replicó el mismo diseño experimental con 03 repeticiones por tratamiento.

Modelo matemático

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Observación que ocupa el lugar k

μ : Media global

α_i : Efecto del Factor 1 i, $i=1,\dots,I$

β_j : Efecto del factor 2 $j=1,\dots,J$

$(\alpha\beta)_{ij}$: Interacción del nivel ij

ε_{ijk} : El termino de error

Tabla 7. Esquema del diseño experimental

	Longitud (cm)	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
	10	T1	T4	T7	T10	T13	T16
Tiempo (min)	15	T2	T5	T8	T11	T14	T17
	20	T3	T6	T9	T12	T15	T18

Nota: 03 repeticiones por tratamiento

Dónde:

T1: bioadsorbente con 0.25 cm de longitud y 10 minutos de ensayo
T2: bioadsorbente con 0.25 cm de longitud y 15 minutos de ensayo
T3: bioadsorbente con 0.25 cm de longitud y 20 minutos de ensayo
T4: bioadsorbente con 0.50 cm de longitud y 10 minutos de ensayo
T5: bioadsorbente con 0.50 cm de longitud y 15 minutos de ensayo
T6: bioadsorbente con 0.50 cm de longitud y 20 minutos de ensayo
T7: bioadsorbente con 1.00 cm de longitud y 10 minutos de ensayo
T8: bioadsorbente con 1.00 cm de longitud y 15 minutos de ensayo
T9: bioadsorbente con 1.00 cm de longitud y 20 minutos de ensayo
T10: bioadsorbente con 1.50 cm de longitud y 10 minutos de ensayo
T11: bioadsorbente con 1.50 cm de longitud y 15 minutos de ensayo
T12: bioadsorbente con 1.50 cm de longitud y 20 minutos de ensayo
T13: bioadsorbente con 2.00 cm de longitud y 10 minutos de ensayo
T14: bioadsorbente con 2.00 cm de longitud y 15 minutos de ensayo
T15: bioadsorbente con 2.00 cm de longitud y 20 minutos de ensayo
T16: bioadsorbente con 2.50 cm de longitud y 10 minutos de ensayo
T17: bioadsorbente con 2.50 cm de longitud y 15 minutos de ensayo
T18: bioadsorbente con 2.50 cm de longitud y 20 minutos de ensayo

3.7. TRATAMIENTO DE DATOS

El análisis de varianza (ANOVA) se realizó para comparar promedios entre tratamientos y determinar la influencia de cada factor como así también la interacción entre estos. Así mismo se realizaron pruebas “post hoc” de Duncan para los factores que mostraron significancia, todos estos procedimientos se realizaron empleando el programa estadístico IBM SPSS Statistics 24 con la ayuda del programa Microsoft Excel como herramienta complementaria.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previamente a la presentación de los resultados es conveniente precisar que el tipo de adsorción identificado en todos los ensayos realizados fue del tipo físico o también denominado fisisorción, pues no se produjo reacción alguna ya sea de naturaleza química o iónica entre las moléculas del petróleo crudo 24 °API y los diferentes adsorbentes ensayados, como mencionan Pérez (2017) y Mestanza (2012) que en la adsorción física las especies que interaccionan mantienen su individualidad e identidad, no se produce compartición ni transferencia de electrones tratándose por lo tanto de un proceso reversible. Por lo que este tipo de adsorción se da gracias a la fuerzas de Van der Waals (Castells, 2000) o también conocidas como atracciones intermoleculares las cuales incluyen atracciones entre átomos, moléculas y superficies.

4.1. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE PETRÓLEO CRUDO 24 °API DE LAS HOJAS DE LA GRAMÍNEA *Brachiaria decumbens*

En la tabla 8 se muestra el resumen de la capacidad adsorbente de petróleo 24 °API de las hojas de la gramínea *Brachiaria decumbens* (bioadsorbente) seccionadas y clasificadas en seis longitudes, para tres tiempos de ensayo y $04 \pm 0,01$ gramos de muestra; los resultados se presentan en gramos de petróleo por gramo de bioadsorbente (g/g).

Tabla 8. Capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea *Brachiaria decumbens*

	Longitud (cm)	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
	10	7,5	6,9	6,1	6,0	5,9	5,5
Tiempo de adsorción (min)	15	7,8	7,0	6,5	6,3	6,2	5,8
	20	7,6	6,8	6,4	6,2	5,9	5,7

Para un buen entendimiento del tema se analizaran los resultados por partes como en la figura 8 dónde se muestran los resultados de capacidad de adsorción para un tiempo de ensayo de 10 minutos.

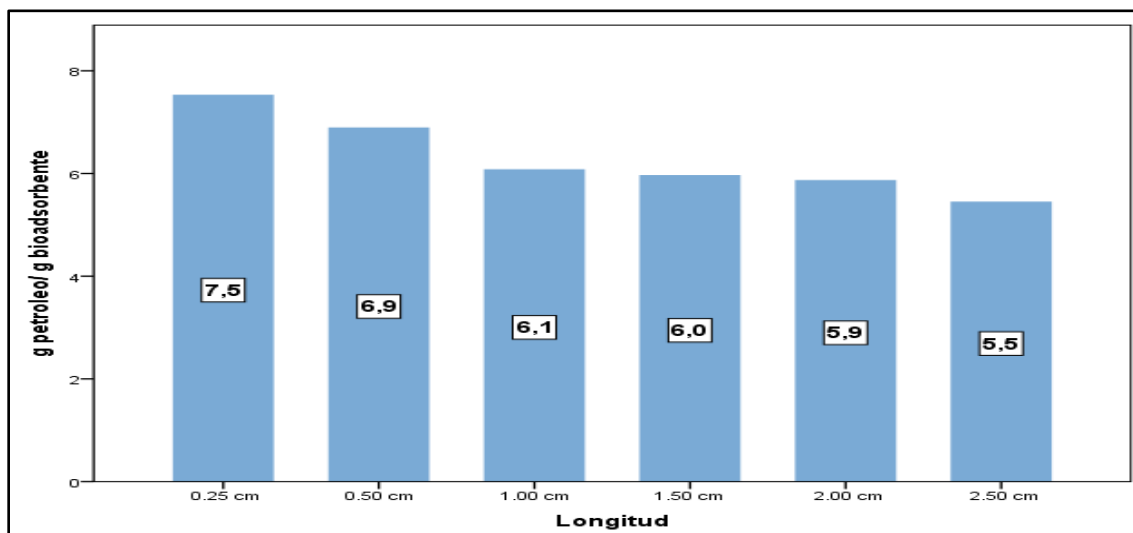


Figura 8. Capacidad de adsorción del bioadsorbente para 10 minutos

Se puede observar que para una longitud de 0,25 cm el bioadsorbente mostro una capacidad de adsorción de 7,5 g/g siendo este resultado superior al resto de los bioadsorbentes ensayados, quienes mostraron resultados en relación: 0,50>1,00>1,50>2,00 cm con capacidades de adsorción de 6,9; 6,1; 6,0 y 5,9 g/g respectivamente, así mismo en este rango de tiempo el bioadsorbente con una longitud de 2,50 cm mostro la menor capacidad de adsorción de petróleo con 5,5 g/g.

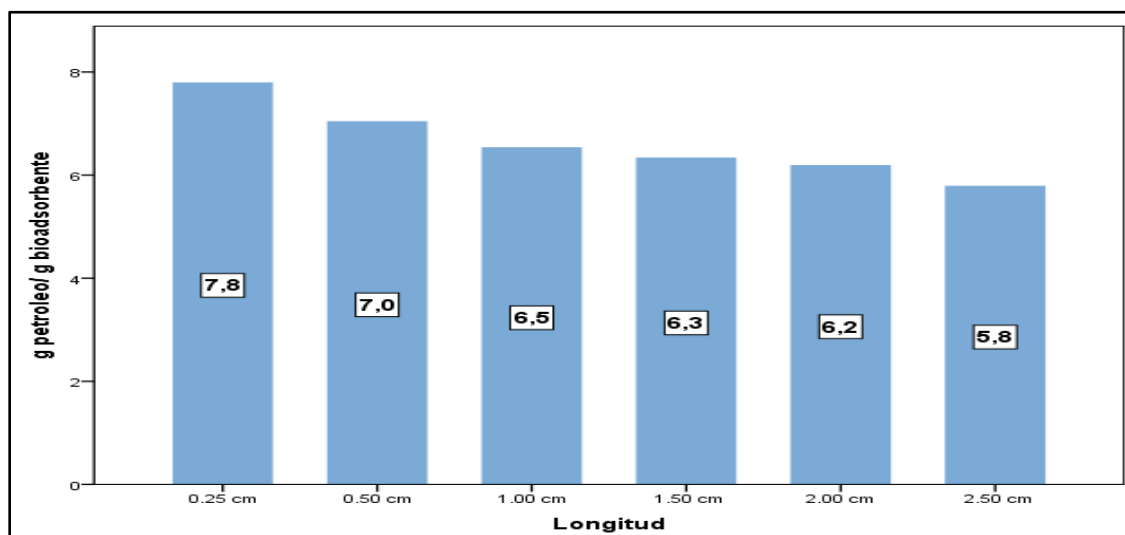


Figura 9. Capacidad de adsorción del bioadsorbente para 15 minutos

En la figura 9 se muestran los resultados para un tiempo de ensayo de 15 minutos donde se puede observar que la menor capacidad de adsorción (5,8 g/g) fue para el bioadsorbente segmentado en longitudes de 2,50 cm, para el mismo bloque de tiempo la mayor capacidad de adsorción fue de 7,8 g/g para el bioadsorbente con una longitud de 0,25 cm, los bioadsorbentes con longitudes de 0,50; 1,00; 1,50 y 2,00 cm mostraron capacidades de adsorción de 7,0; 6,5; 6,3 y 6,2 g/g respectivamente.

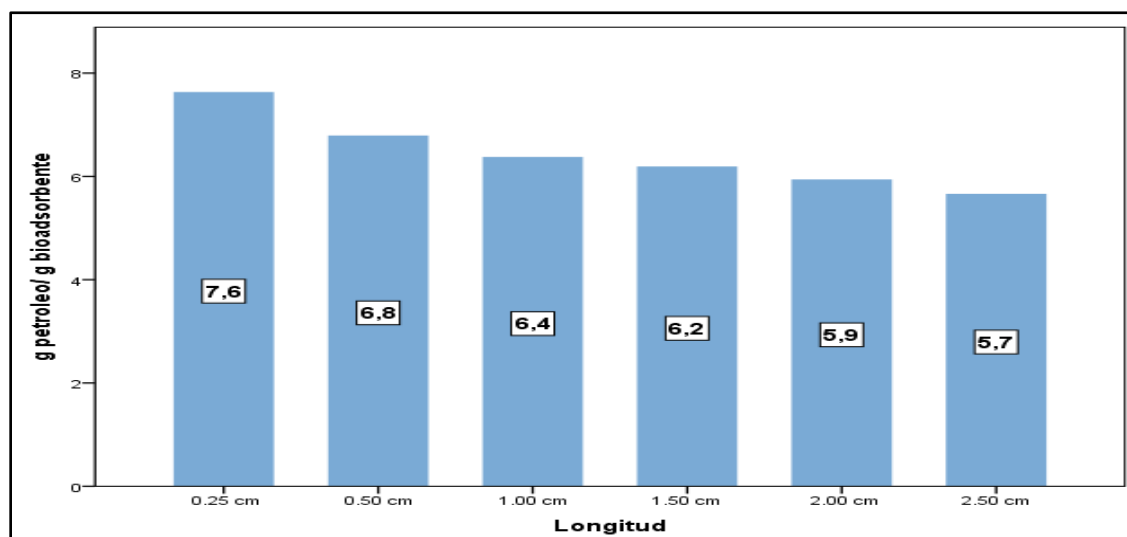


Figura 10. Capacidad de adsorción del bioadsorbente para 20 minutos

Así mismo en la figura 10 se muestra que para un tiempo de 20 minutos el bioadsorbente con una longitud de 0,25 cm mostro el mejor desempeño en cuanto a capacidad de adsorción con 7.6 g/g, el bioadsorbente con una longitud de 2,50 cm mostro menores resultados en este rango de tiempo con una capacidad de adsorción de 5,7 g/g, la relación entre una menor longitud y una mayor capacidad de adsorción se mantiene pues los bioadsorbentes con longitudes de 0,50; 1,00; 1,50 y 2,00 cm mostraron capacidades de adsorción de 6,8; 6,4; 6,2 y 5,9 g/g respectivamente.

4.1.1. Análisis de varianza de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens*

A efectos de conocer si el tiempo y la longitud del bioadsorbente influyen en la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API del bioadsorbente ensayado se realizó el siguiente análisis ANOVA el cual se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. *Análisis de varianza (ANOVA) de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea Brachiara decumbens.*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	24,657	17	1,450	52,503	,000
Intersección	2247,720	1	2247,720	81365,632	,000
Longitud	23,567	5	4,713	170,625	,000
Tiempo	,918	2	,459	16,614	,000
Longitud * Tiempo	,171	10	,017	,620	,786
Error	,994	36	,028		
Total	2273,371	54			
Total corregido	25,651	53			

La tabla 9 muestra el ANOVA para las variables longitud, tiempo y la interacción entre ambos, este análisis revela que la longitud del bioadsorbente es un factor que influye significativamente en la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API pues muestra un valor de ($p < 0.05$). De igual manera para el factor tiempo de adsorción se muestra un valor de ($p < 0.05$) indicándonos que este factor influye significativamente en la capacidad de adsorción de petrolero crudo 24 °API.

Se puede observar que la interacción entre los factores tiempo y longitud muestran datos no significativos ($p > 0.05$) indicándonos que estas dos variables al interactuar no influyen en la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API.

4.1.2. Influencia de la longitud

Como el ANOVA dio datos significativos para la longitud del bioadsorbente se procedió a realizar la prueba de Duncan para este factor como se muestra en la tabla 10, la cual nos permite confirmar que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio pues se muestran seis subconjuntos diferentes uno para cada longitud.

Tabla 10. *Análisis de Duncan para el factor longitud del bioadsorbente*

Longitud (cm)	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	6
2.50	9	5,6367					
2.00	9		6,0036				
1.50	9			6,1679			
1.00	9				6,3339		
0.50	9					6,9112	
0.25	9						7,6552
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Nota Alfa = 0.05

Al ser el tipo de adsorción de naturaleza física identificada en la investigación, las moléculas de petróleo crudo 24 °API se acumularon en la superficie del bioadsorbente sin modificar su estructura y sin penetrar en el, por lo tanto el mecanismo por el cual se mostraron diferentes capacidades de adsorción se encuentra estrechamente relacionada al tamaño de las superficies externas que presentaron bioadsorbentes de diferente longitud, ITOPF (2012) hace mención que en el caso de hidrocarburos sin capacidad para fluir dentro de un material adsorbente el área superficial externa disponible determinará el rendimiento de este.

Por ende es deseable que un material adsorbente tenga la mayor cantidad de superficies externas disponibles para que el petróleo interactúe con él, lográndose esto en nuestro estudio al reducir el bioadsorbente a tamaños pequeños mediante cortes longitudinales; Huang y Lim (2006) señalan que los tratamientos físicos (corte, molienda, trituración) afectan la eficiencia de capacidad de adsorción de aceites de los adsorbentes naturales, dan como ejemplo que un adsorbente natural al ser triturado exhibe una mayor capacidad de adsorción debido al hecho de que tiene más superficies de contacto adsorbente-aceite y sitios de unión entre partículas, estas observaciones van en concordancia con Annunciado et al. (2005) quienes señalan que al ser dependiente la capacidad de adsorción de la disponibilidad del área superficial esta se puede incrementar aún más mediante la reducción del tamaño de las partículas adsorbentes, Ibrahim et al. (2009) agregan que a medida que se reduce el tamaño de las partículas adsorbentes estas

contienen más superficie disponible como sitios de unión al petróleo en comparación con partículas de mayor tamaño y por lo tanto obtienen mayor capacidad de adsorción.

Este fenómeno fue observado por diferentes investigadores quienes evaluaron el tamaño del adsorbente y su papel en la capacidad de adsorción de hidrocarburos por ejemplo Jiménez y Padilla (2012) quienes estudiaron el potencial de 03 aserrines como adsorbentes de diesel trabajando para ellos con partículas en diferentes tamaños: 02 mm y 01 mm, determinaron un mayor porcentaje de remoción de diesel cuando emplearon partículas con un tamaño de 01 mm, llegando a la conclusión de que entre más pequeña sea una partícula esta posee un área de contacto más elevado permitiendo al adsorbato conseguir una maximiza capacidad de adsorción.

Así mismo Salazar (2012) quien evaluó el efecto del tamaño de la partícula en la remoción de hidrocarburos (petróleo, diesel y gasolina) empleando para ellos biopolímeros naturales con diferentes longitudes (01, 05, 07, 10 y 13 cm) obtuvieron los mejores resultados para el grupo de biopolímeros de 01 cm, este autor atribuye tal efecto a la disminución de la longitud debido a que un biopolímero más pequeño incrementa su área específica superficial permitiendo que el hidrocarburo disponga de un área mayor donde poder adherirse, Behnood et al. (2013) quienes estudiaron la aplicación de adsorbentes naturales (bagazo de caña de azúcar) como adsorbente de petróleo crudo, hacen mención que un aumento en la capacidad de adsorción del petróleo al disminuir el tamaño medio de las partículas que trabajaron (05 mm – 0,1 mm) puede atribuirse a un aumento en el área interfacial, añaden que para partículas menores a 01 mm el efecto de disminuir el tamaño es mayor porque las partículas son más homogéneas en este rango de tamaño y el número de partículas aumenta considerablemente.

Confirmando y respaldando estas observaciones los resultados que se obtuvieron en nuestra investigación pues a medida que se trabajó con bioadsorbentes de menor longitud los resultados de capacidad de adsorción se incrementaron siguiendo la tendencia 2,50 <2,00 <1,50 <1,00 <0,50 <0,25 cm como se muestra en la figura 11.

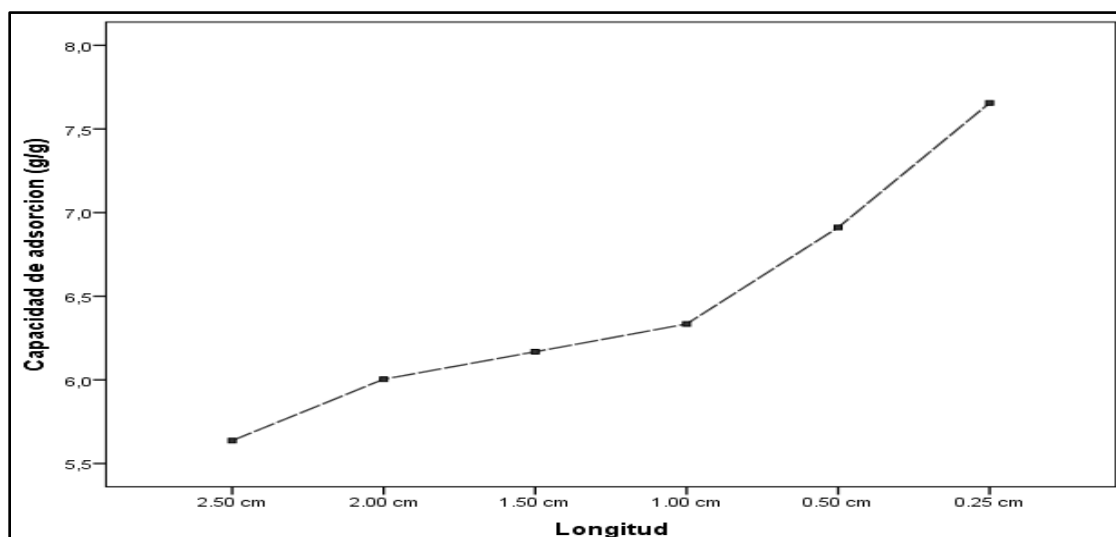


Figura 11. Perfil de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API para el bioadsorbente con longitudes de 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 y 2,50 cm

Esto nos lleva a pensar que se podrían obtener mayores resultados al emplear bioadsorbentes con una longitud menor a 0,25 cm pues se incrementarían aún más las superficies externas para el atrapamiento de petróleo crudo 24 °API. Sin embargo es importante considerar que disminuir los adsorbentes a fracciones muy pequeñas puede traer deficiencias en la utilización de estos en un derrames real de petróleo como una difícil recolección de la mezcla de hidrocarburos-adsorbente, que su uso se vea restringido por el viento y su mayor dificultad de manipulación a comparación con adsorbentes de mayor tamaño (ITOPF, 2012).

Si bien es cierto que a menor longitud la tendencia es obtener mayores resultados de capacidad de adsorción, Abdelwahab et al. (2016) en su trabajo sobre fibras de palma modificadas como adsorbente de diferentes hidrocarburos (diesel, petróleo crudo y aceite vegetal), determinaron que al incrementar gradualmente el tamaño de partícula del adsorbente que ensayaron aumento también su capacidad de adsorción, ellos ensayaron partículas de 0,5 mm a 2,0 mm determinando un mejor resultado para un tamaño de partícula adsorbente de 2,0 mm, concluyen que esto se da consecuencia de la pérdida de los capilares naturales de las fibras al ser molidas a tamaños muy pequeños y que estas al conservar un tamaño mayor mantienen dichos capilares. Así mismo Tansel y Vilar (2005) agregan que se puede capturar más petróleo en partículas más grandes debido al aumento en la colisión del adsorbente con el petróleo, siendo ambas conclusiones no observables

para el bioadsorbente estudiado debido a que no mostro la presencia de capilares y no se obtuvo mayor rendimiento para longitudes más grandes.

Por otra parte al depender la capacidad de adsorción de la superficie del material, Wahi et al. (2013) hacen mención que una morfología superficial rugosa y la estructura de poro entrelazado de las superficies absorbentes es deseable y están unidas a una alta capacidad de adsorción, dicha morfología y estructura proporcionan sitios más activos para la adsorción de aceite en lugar de superficies lisas. Apreciándose esta característica en las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens* que paso de tener una superficie regularmente lisa a una superficie rugosa después de realizado el proceso térmico como se muestra en la figura 12, por lo que este tipo de superficies facilito e incremento la adsorción de petróleo crudo 24 °API.



Figura 12. Irregularidades (rugosidad) mostrada en la superficie del bioadsorbente estudiado

Además en el desarrollo de los ensayos se apreció diferentes tasas de pérdida de petróleo para bioadsorbentes de diferente longitud, esto al momento de realizar el proceso de drenado. Pues los adsorbentes se basan tanto en la adhesión de los hidrocarburos a la superficie del adsorbente como en las propiedades cohesivas de los hidrocarburos (ITOPF, 2012), viéndose incrementadas estas características para el bioadsorbente con una longitud de 0,25 cm quien formo una especie de “masa” consistente donde el petróleo crudo 24 °API debido a su viscosidad actuó como pegamento que mantuvo a las partículas bioadsorbentes adheridas entre sí, estas características fueron disminuyendo a medida que se empleaba

bioadsorbentes con longitudes de 0,50; 1,00; 1,50 y 2,00 cm, mostrando el bioadsorbente con una longitud de 2,50 cm una menor consistencia y fácil esparcimiento al movimiento como así también una mayor tasa de pérdida de petróleo, la variabilidad de estas características entre diferentes longitudes se reflejó en los resultados pues a menor pérdida de petróleo se obtuvieron mayores capacidades de adsorción.

Finalmente otra observación de acuerdo a la longitud del bioadsorbente y para el mismo peso de material fue que bioadsorbentes de menor longitud necesitaron un espacio menor para su almacenamiento en comparación con bioadsorbentes de mayor tamaño, esta ventaja se reflejara en un futuro al momento de manejar grandes cantidades de material bioadsorbente, que tienen una tasa alta de adsorción y que necesitaran un menor espacio disponible para su almacenamiento siendo con esto lo más efectivamente posible al momento de manejar un derrame real de petróleo pues ITOPF (2012) menciona que los adsorbentes son voluminosos por naturaleza y que en grandes cantidades puede resultar relevante el espacio de almacenamiento.

4.1.3. Influencia del tiempo

Como el ANOVA dio datos significativos para el tiempo de adsorción se procedió a realizar la prueba de Duncan para este factor como se muestra en la tabla 11, la cual nos permite confirmar que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio pues se muestran tres subconjuntos diferentes uno para cada tiempo de adsorción.

Tabla 11. *Análisis de Duncan para el factor tiempo de adsorción*

Tiempo (min)	N	Subconjunto		
		1	2	3
10	18	6,3013		
20	18		6,4338	
15	18			6,6192
Sig.		1,000	1,000	1,000

Nota Alfa = 0.05

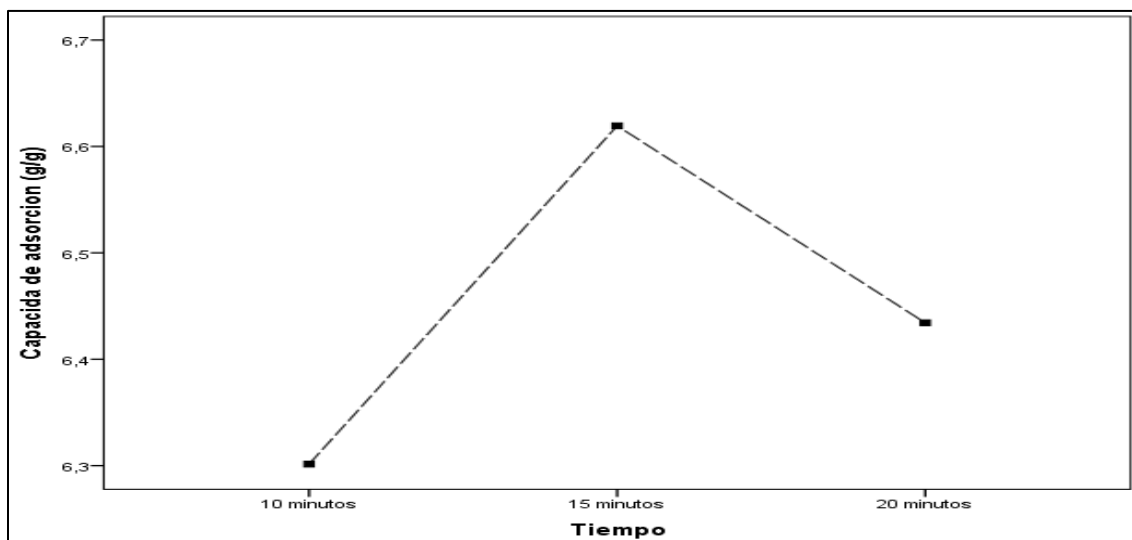


Figura 13. Perfil de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API para tiempos de 10, 15 y 20 minutos

Como se muestra en la figura 13 en general se pueden ubicar los resultados de capacidad de adsorción más óptimos para un tiempo de ensayo de 15 minutos pues en este rango de tiempo el petróleo crudo se adhirió y saturó completamente las superficies externas que presentó el material bioadsorbente, tiempos inferiores (10 minutos) no fueron suficientes para que el petróleo saturara completamente todas las superficies disponibles que presentó el bioadsorbente y si bien es cierto que con un tiempo de 20 minutos se esperarían obtener mejores resultados no sucedió esto ya que el bioadsorbente una vez saturado no logró adsorber mayor cantidad de petróleo debido a la limitada disponibilidad de las superficies para la adsorción de crudo y por el contrario empezó a reducir su eficiencia observándose en este rango de tiempo el fenómeno de la desorción, al respecto ITOPE (2012) hace mención que generalmente los adsorbentes pueden saturarse de hidrocarburos con rapidez y cuando estos alcanzan su punto máximo de saturación ya no logran recolectar más hidrocarburos y deben ser retirados con la mayor rapidez posible, Rajakovic et al. (2008) agregan que el efecto de saturación causa una disminución en la eficiencia de eliminación de aceite cuando se alcanza la capacidad de adsorción máxima. Siendo perceptible esto para un tiempo de 20 minutos con la consecuente disminución de la capacidad de adsorción de petróleo, obteniéndose por ende resultados similares a los determinados en 10 minutos de ensayo.

El tiempo donde el bioadsorbente encontró su mayor rendimiento es corto a comparación de otros tipos de tratamientos que generalmente se aplican o demoran en aplicar en un derrame de petróleo, pues lo que en realidad se busca con esta investigación es reconocer un material bioadsorbente que se sature completamente de petróleo, mostrando una buena tasa de capacidad de adsorción en el menor periodo de tiempo posible, esto para permitirnos actuar de manera rápida y eficaz ante los derrames de petróleo crudo 24 °API que suceden en el Oleoducto Norperuano pues la demora en los tratamientos hace que el petróleo se extienda en un área muy grande además de sufrir procesos como la intemperización, dispersión o emulsificación, que vuelven al hidrocarburo más tóxico al medioambiente y de difícil recuperación (Wei et al. 2003).

Así mismo algunos autores concuerdan que 15 minutos es un tiempo ideal para aplicar los adsorbentes en un derrame real de petróleo, por ejemplo Salinas (2010) demostró que el tiempo de contacto entre el bioadsorbente que empleo (biopolímeros naturales) y los hidrocarburos que ensayo (petróleo, diesel y gasolina) fue inmediata, obteniendo capacidades de adsorción similares en 05 o en 960 minutos, ante esto selecciono un tiempo de 15 minutos como el rango de tiempo ideal porque a criterio del autor, en caso de derrames de petróleo es deseable un uso rápido del material adsorbente. Así mismo Martínez (2013) quien estudió el potencial bioadsorbente del *Pennisetum clandestinum* como remediador de agua contaminada con petróleo determino que el tiempo es una variable que influye en la remoción de petróleo, para ello empleo tres tiempos de 10, 15 y 20 minutos, determino que el tiempo donde obtuvo el mayor porcentaje de remoción de petróleo fue para 15 minutos, añade que los derrames de petróleo requieren de una respuesta inmediata para evitar el daño a la flora y fauna del sitio afectado.

Tiempos menores fueron determinados y propuestos por Salazar (2012) quien evaluó el efecto de este en la remoción de hidrocarburos (petróleo, diesel y gasolina) empleando para ellos biopolímeros naturales y tiempos de ensayo entre 01 y 60 minutos, considero que el tiempo óptimo de retención de hidrocarburos fue de 02 minutos ya que para este intervalo de tiempo el biopolímero estudiado adsorbe su capacidad máxima, concluyendo que este tiempo es adecuado para un adsorbente de hidrocarburos ya que permitiría dar una rápida respuesta ante los derrames de petróleo aunque en nuestra

investigación dicho tiempo no fue suficiente para saturar completamente a los diferentes tipos de bioadsorbentes ensayados.

Por el contrario Méndez et al. (2012) quienes estudiaron la capacidad de adsorción de 03 hidrocarburos (diesel, mezcla de petróleos y aceite de motor) empleando cinco materiales orgánicos, realizaron dos pruebas para ver la influencia del tiempo, una corta con un tiempo de 15 minutos y otra la larga con una duración de 24 horas, ambos tiempos mostraron capacidades de adsorción similares para diesel y aceite de motor según el tipo de material, siendo para la mezcla de petróleo la adsorción más lenta, estos autores mencionan que la saturación completa de los materiales que ensayaron se lleva poco después de los 15 minutos, sin embargo concluyen que la prueba larga (24 horas) es más representativa debido a que se asegura la saturación completa de los materiales ensayados.

Así mismo Abdelwahab et al. (2016) en su trabajo sobre fibras de palma modificadas como adsorbente de diferentes hidrocarburos (diesel, petróleo crudo y aceite vegetal) evaluaron el tiempo como un factor que influye en la capacidad de adsorción empleando para ello tiempos de 1 a 120 minutos, encontrando las mejores capacidades de adsorción de los diferentes hidrocarburos para tiempos de 20 a 40 minutos, demostrando con esto que la capacidad de absorción se encuentra relacionada al tiempo, además observaron que la tasa de extracción de hidrocarburos fue muy alta al inicio de sus experimentos para luego reducirse gradualmente y volverse estable, siendo estas observaciones contrarias a nuestra investigación pues como ya menciono anteriormente pasado los 20 minutos de ensayo el bioadsorbente comenzó a disminuir su capacidad de adsorción.

Cabe mencionar que en los ensayos realizados la celda de adsorción siempre permitió a los diferentes tipos de bioadsorbente flotar libremente dentro del petróleo crudo para asegurarse con esto la saturación completa del material ensayado. Puede resultar difícil identificar el nivel de saturación de los adsorbentes, sin embargo la ventaja de utilizar el método ASTM F726-12 radica en que este muestra un tiempo definido de saturación el cual se empleó como referente para realizar los ensayos.

4.2. DESEMPEÑO DEL BIOADSORBENTE MÁS ÓPTIMO FRENTE A LOS ADSORBENTES COMERCIALES

Los materiales adsorbentes comerciales para petróleo crudo fueron seleccionados de acuerdo a su disponibilidad en nuestra zona de estudio y que por motivos de confidencialidad e imparcialidad hacia una marca determinada fueron denominados como adsorbente comercial sintético a base de polipropileno (TC1) y adsorbente comercial orgánico de composición desconocida (TC2) cuyas especificaciones técnicas se muestran en las tablas 15 y 16 del correspondiente anexo.

Así mismo se tomaron los datos que presento las mejores capacidades de adsorción de petróleo 24 °API del ensayo anterior siendo el bioadsorbente con una longitud de 0,25 cm el ideal y al cual se le denominó (TB1), puesto que los adsorbentes comerciales al no tener un tamaño definido no pudieron ser evaluados en conjunto con los bioadsorbentes clasificados en diferentes longitudes. En la tabla 12 se muestra el resumen de los resultados de la capacidad adsorbente del TB1, TC1 y TC2 para tres tiempos y $04 \pm 0,01$ gramos de muestra por ensayo, los resultados se presentan en gramos de petróleo por gramo de adsorbente (g/g).

Tabla 12. Capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API del TB1, TC1 y TC2

Tipo de adsorbente		TB1	TC1	TC2
Tiempo de adsorción (min)	10	7,5	11,8	10,4
	15	7,8	11,9	10,2
	20	7,6	11,9	9,6

Nota: TB1: Bioadsorbente, TC1: adsorbente comercial sintético, TC2: adsorbente comercial orgánico.

En la figura 14 se puede observar que para un tiempo de 10 minutos el bioadsorbente TB1 mostro una capacidad de adsorción de 7,5 g/g siendo este resultado inferior al TC1 y TC2 quienes mostraron para este mismo rango de tiempo capacidades de adsorción de 11,8 y 10,4 g/g respectivamente. Hacia los 15 minutos de realizado los experimentos encontramos la menor capacidad de adsorción (7,8 g/g) para el bioadsorbente TB1, para el mismo rango de tiempo la mayor capacidad de adsorción fue de 11,9 g/g para el TC1 mientras que el TC2 mostro una capacidad de adsorción de 10,2 g/g.

Para un tiempo de 20 minutos el TC2 mostro el mejor desempeño en cuanto a capacidad de adsorción con 11,9 g/g seguidos por el TC2 con 9,6 g/g, en este tiempo el TB1 mostro el menor resultado con una capacidad de adsorción de 7,8 g/g. Como se puede observar, materiales de diferente origen necesitan diferentes tiempos para lograr su máxima eficiencia.

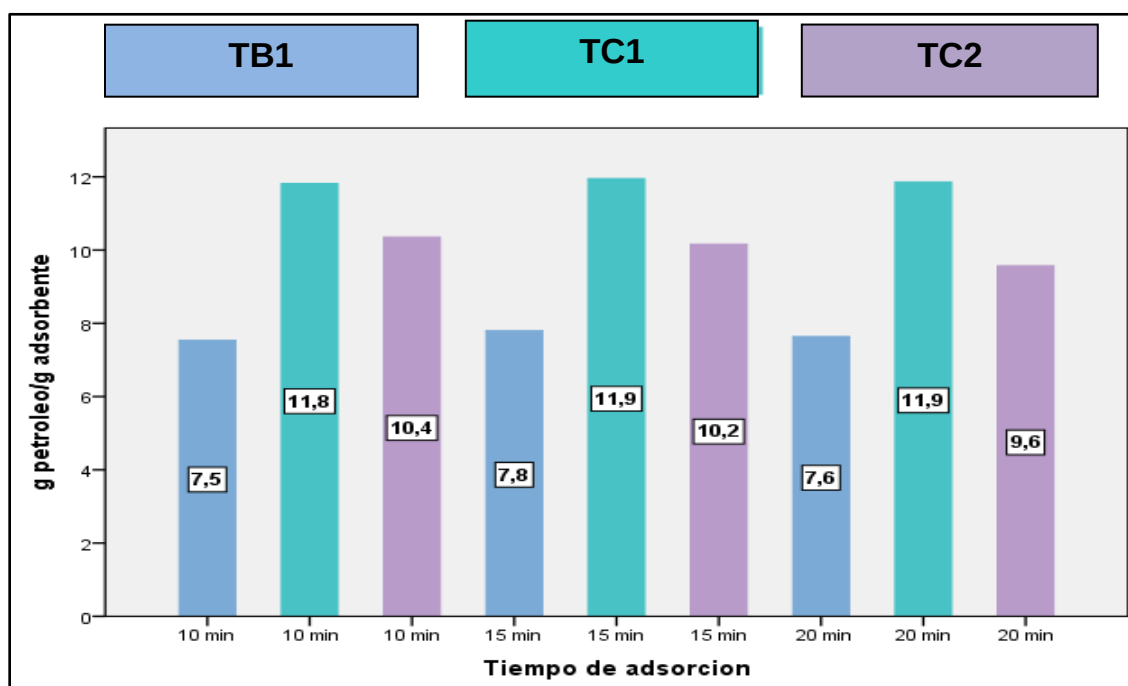


Figura 14. Capacidad de adsorción de petróleo 24 °API para el bioadsorbente (TB1), adsorbente comercial sintético (TC1) y adsorbente comercial orgánico (TC2)

En general los adsorbentes sintéticos proporcionan una mayor eficacia en la adsorción de hidrocarburos mostrando una relación entre peso de hidrocarburos y adsorbente de 40:1 en comparación con una relación de 10:1 para productos orgánicos y de tan solo 2:1 para materiales inorgánicos (ITOPF, 2012).

En la investigación se mantuvo dicha tendencia como se muestra en la figura 14 donde los resultados más óptimos del TC1 presenta una mayor relación entre peso de petróleo crudo 24 °API y adsorbente de 11,9:1 frente a TC2 con 10,4:1 y TB1 con 7,8:1, la naturaleza sintética del polipropileno y el estar diseñado específicamente para adsorber hidrocarburos hacen que este adsorbente sea muy efectivo aumentando su rendimiento al presentar la forma de hilos, como menciona ITOPF (2012) que si el adsorbente adopta la forma de una madeja de hilos sueltos la cohesión de los hidrocarburos entre los elementos adsorbentes puede servir para producir una masa solidificada que retarde el esparcimiento de los hidrocarburos lo que facilita la recolección de la mezcla de hidrocarburos y adsorbente retirando por lo tanto mayor cantidad de petróleo, sin embargo al momento de realizar el proceso de drenado este adsorbente mostro una mayor tasa de pérdida de petróleo a comparación de TC2 y TB1 y que a pesar de esto las características anteriormente mencionadas del TC1 hizo que muestre mejores resultados.

La diferencia entre las máximas capacidades de adsorción obtenidas por el TC1 y TC2 es de 1,5 g/g indicándonos esto lo competitivos que pueden llegar a ser los adsorbentes de origen natural, así mismo el TC2 presento una capacidad de adsorción mayor a TB1 pues los resultados más eficientes de adsorción entre ambos materiales difieren en 2,6 g/g; como ya se mencionó anteriormente se puede mejorar la capacidad de adsorción del TB1 al disminuir este a longitudes menores a 0,25 cm como es el caso de TC2 quien mostro gran variedad de tamaños todos ellos inferiores al tamaño presentado por TB1 y que por ende presento una mayor cantidad de áreas superficiales y una mayor cohesión con el petróleo crudo 24 °API, sin embargo su manejo resulto un tanto tediosa y dificultosa.

Ante todo esto la ventaja más importante que presenta el TB1 frente a los dos adsorbentes comerciales usados para la comparación es la materia prima necesaria para su elaboración (*Brachiaria decumbens*), pues esta gramínea puede encontrarse disponible fácilmente en la amazonia peruana ya que este ambiente es idóneo para su proliferación por lo que puede cultivarse sin demasiado cuidado ofreciendo así gran cantidad de biomasa aprovechable para la elaboración del bioadsorbente, siendo así una alternativa accesible en las zonas de derrame de petróleo crudo 24 °API en el Oleoducto Norperuano, como

menciona ITOPF (2012) los materiales orgánicos son generalmente de bajo coste 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.

Así mismo el TB1 puede suplir las desventajas que implican el uso de productos sintéticos en los tratamientos para derrames de petróleo ya que por su naturaleza no son amigables con el medio ambiente, además el contenido de fibra natural que presento (25,4%) hacen de este un material atractivo para la elaboración de bioadsorbentes con mayor eficiencia empleado para ello otros tratamientos que activen o mejoren su capacidad adsorbente de petróleo haciéndolo así más competitivo.

Martínez (2013) quien estudio la aplicación de adsorbentes orgánicos para derrames de petróleo en la amazonia ecuatoriana señala que para este tipo de entorno el uso de residuos vegetales de la localidad donde se producen los derrames de petróleo es una buena opción ya que pueden ser utilizados inmediatamente por las comunidades del lugar, que no cuentan con productos comerciales específicos para derrames y hasta que lleguen los equipos especializados de contingencia. Siendo esta apreciación acorde con la realidad de los derrames de petróleo que actualmente se vive en la amazonia peruana.

Es importante señalar que el fenómeno de la adsorción para diferentes materiales y relacionarlos entre si es una tarea muy compleja; Ho et al. (2000) hacen mención que la diferencia que presentan las estructuras de los adsorbentes implica que existen diferentes maneras en que los contaminantes son capturados, los mecanismos de adsorción son variados, dependen de la interacción adsorbato/adsorbente y de las condiciones del sistema, por lo tanto se hace prácticamente imposible clasificar un mecanismo de adsorción global para adsorbentes de diferentes tipo y origen.

4.3. ADICIONALIDAD

Para este ensayo se replicó el diseño experimental con dosificaciones de 02 y 06 $\pm$ 0.01 gramos para el TB1 pues al ser este tipo de bioadsorbente el más eficiente se consideró profundizar su estudio evaluando si la dosis afecta en la capacidad de adsorción de petróleo 24 °API.

Tabla 13. Capacidad de adsorción petróleo crudo 24 °API para diferentes dosis de TB1

Dosis (g)	02	04	06
10	7,6	7,5	7,5
15	7,8	7,8	7,7
20	7,7	7,6	7,6

En la tabla 13 se muestra el resumen de la capacidad de adsorción del TB1 para dosis de 02, 04 y 06 $\pm$ 0,01 gramos y para tiempos de adsorción de 10, 15 y 20 minutos; los resultados se presentan en gramos de petróleo por gramo de bioadsorbente (g/g).

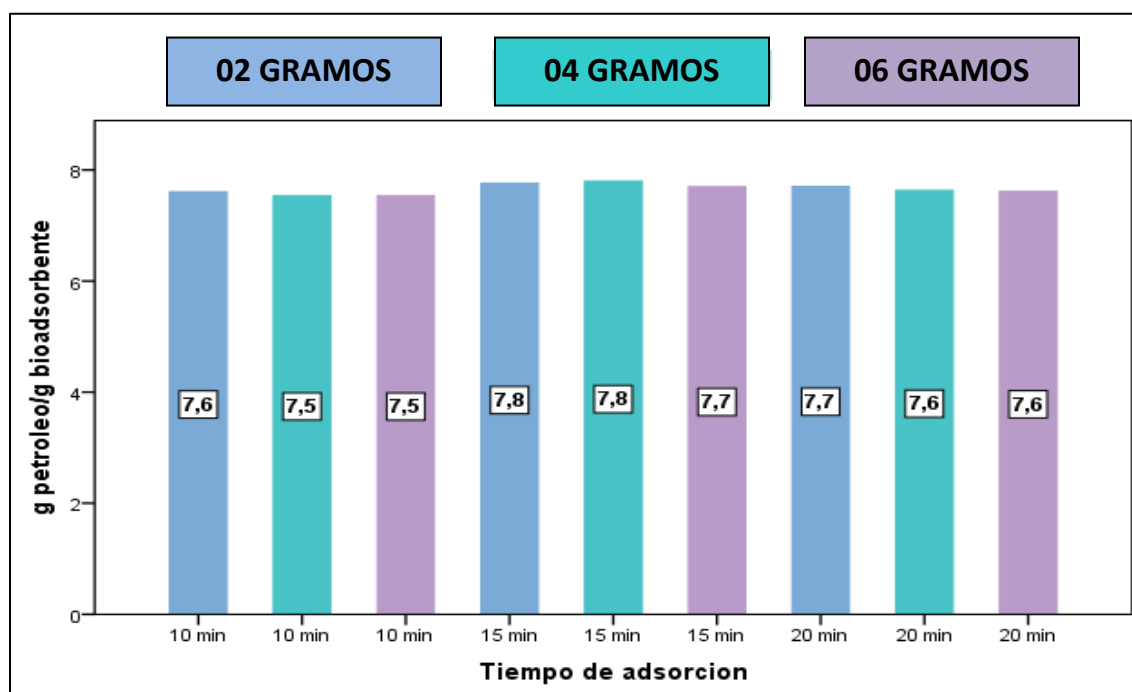


Figura 15. Capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API para diferentes dosis del TB1

La figura 15 nos muestra que para un tiempo de 10 minutos y dosis de 02 gramos se obtuvo la mayor capacidad de adsorción con 7,6 g/g siendo este resultado superior en 0,1

g/g a dosis de 04 y 06 gramos los cuales mostraron capacidades de adsorción de 7.5 g/g en ambos casos. Para tiempos de 15 minutos se obtuvo capacidades de adsorción de 7,7 g/g para dosis de 06 gramos, para el mismo bloque de tiempo la mayor capacidad de adsorción fue de 7,8 g/g para dosis de 02 y 04 gramos respectivamente. Así mismo para un tiempo de 20 minutos se obtuvo el mejor desempeño con 7,7 g/g para una dosis de 02 gramos mientras que dosis de 04 y 06 gramos mostraron capacidades de adsorción de 7,6 g/g respectivamente.

Un análisis adicional ANOVA (ver anexo tabla 20) muestra que el tiempo es el único factor que influye significativamente en la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API, pues el factor dosis y la interacción de este con el tiempo muestran un valor ($p > 0.05$) respectivamente. Sin embargo encontramos autores que hacen mención que la dosis inicial de adsorbente si influye en la capacidad de adsorción por ejemplo Abdelwahab et al. (2016) demostraron que cuanto mayor es la cantidad de adsorbente la capacidad de adsorción disminuye, estos autores concluyen que esto sucede porque los sitios activos adicionales insaturados aumentan al tener mayor cantidad de adsorbente, en otras palabras se tiene mayor cantidad de adsorbente insaturado de petróleo al emplear mayores dosis, así mismo Martínez (2013) quien trabajo con dosificaciones de *Pennisetum clandestinum* de 1,00 y 1,50 gramos para remover petróleo de cuerpos de agua, obtuvo los mejores resultados para dosis de 1,50 gramos, este autor concluye que se obtiene una mayor adsorción debido a que a mayor cantidad de bioadsorbente se aumenta la superficie activa disponible para la adsorción de petróleo, llegando a la misma conclusión que Li et al. (2008) quienes describen que este fenómeno se asocia con un aumento en los sitios de unión disponibles para la adsorción en una mayor dosis de adsorbente.

Esta tendencia descrita por los autores anteriormente mencionados no se observó para el TB1 pues ellos trabajaron otros factores como concentraciones iniciales de petróleo y empleando métodos de evaluación distintos al utilizado en la investigación, además en los ensayos realizados siempre se cercioro que el bioadsorbente tenga una saturación completa de petróleo crudo al momento de sumergirla en la celda de adsorción, agregando una mayor cantidad de petróleo si era necesario y de acuerdo al espesor de cada muestra bioadsorbente pues ASTM-F726 (2012) menciona que se debe formar una capa de petróleo tan gruesa

como la muestra adsorbente a ensayar esto para asegurar la saturación completa del material evaluado, es por esto que prácticamente no se obtuvieron sitios insaturados en la muestras del TB1 para diferentes dosis, observándose que estas se adhirieron de petróleo a la misma velocidad mostrando únicamente una diferencia de 0,1 g/g para el mismo tiempo y diferentes dosis.

Así mismo al evaluar la capacidad de adsorción del bioadsorbente estamos evaluando la cantidad de petróleo que este es capaz de retener por cada 01 gramo, es decir que los datos que determinamos en laboratorio deberían ser constantes para mayores volúmenes, dándonos esto una idea de la cantidad de bioadsorbente a emplearse en un derrame real de petróleo pues al momento de manejar, controlar y tratar estos mediante el uso de adsorbentes y más aún al realizar estas operaciones en lugares remotos, se tiene que ser lo más eficientemente posible ya que el transporte de grandes cantidades de material adsorbente, desde el almacén hasta un centro de distribución en las inmediaciones del derrame y de aquí hasta el sitio en el que se utilizarán puede provocar problemas logísticos, además el uso excesivo e ineficiente del material bioadsorbente puede provocar contaminación secundaria y generar problemas durante el almacenamiento temporal, transporte y desecho del material contaminado por hidrocarburos siendo esto más apreciable en zonas frágiles y vulnerables como son los que recorre el Oleoducto Norperuano.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. La capacidad de adsorción máxima obtenida por el bioadsorbente elaborado a partir de las hojas de la gramínea *Brachiaria decumbens* (7.8 g petróleo/ g bioadsorbente) hacen de este un material alternativo y con uso potencial que puede emplearse en derrames de petróleo crudo 24 °API en el Oleoducto Norperuano.
2. La mayor eficiencia de capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API (7,8 petrolero/ g bioadsorbente) se obtuvo para el bioadsorbente con longitudes de 0,25 cm.
3. La mayor eficiencia de capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API para el bioadsorbente estudiando (7,8 petrolero/ g bioadsorbente) se obtuvo en un tiempo de 15 minutos.
4. La capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API más eficiente del bioadsorbente ensayado (7,8 petrolero/ g bioadsorbente) fue inferior a los de los adsorbentes comerciales quienes mostraron capacidades de adsorción máxima de 11,9 y 10,4 g petróleo/ g adsorbente respectivamente.
5. La dosis inicial del bioadsorbente no influye en la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API.

5.2. Recomendaciones

1. Evaluar el desempeño del bioadsorbente estudiado en un derrame real de petróleo crudo 24 °API del Oleoducto Norperuano.
2. Evaluar el desempeño del bioadsorbente estudiado para otros tamaños y otros tipos de petróleo que se transporta por el Oleoducto Norperuano.
3. Evaluar el comportamiento del bioadsorbente estudiado para sistemas dinámicos y acuáticos.
4. Realizar isothermas de adsorción para poder describir adecuadamente el fenómeno de adsorción que se produce entre el bioadsorbente y el petróleo crudo.
5. Investigar métodos alternativos para activar e incrementar la capacidad adsorbente de petróleo de las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens*.
6. Dar a conocer los beneficios que involucra el uso de esta técnica de remediación tanto a empresas públicas y privadas relacionadas con el manejo de petróleo, así como a las comunidades que podrían estar directamente afectados por los derrames de petróleo crudo en el Oleoducto Norperuano.
7. Investigar tratamientos para el aprovechamiento y/o reusó del bioadsorbente contaminado por petróleo crudo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelwahab O., Nasr M. S., Thabet M. W., (2016). Palm fibers and modified palm fibers adsorbents for different oils. National Institute of Oceanography and Fisheries, Alexandria, Egypt Institute of Graduate Studies and Research, Egypt accepted 6 November 2016.
- Almeida, A (2006). Fases e impactos de la actividad petrolera. En: Manuales de Monitoreo Ambiental Comunitario. Acción Ecológica. Quito.
- Annunciado, T.R. Sydenstricker, T.H.D. y Amico, S.C. (2005). Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills. Marine Pollution Bulletin 50, 1340-1346.
- ASTM International. (2012). Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents, Designation: F 726-12. Recuperado el 23 de abril de 2016, de <https://www.astm.org/Standards/E2235.htm>.
- Bazán R. A. (2017). Selección de brazos de carga para desembarco de crudo en Estación 1 del Oleoducto Norperuano. Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura. Pág.: 3-4.
- 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.
- Bottani, E., Odetti, H., Pliego, O., & 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.
- Castells X. E., (2000). Reciclaje de residuos industriales. Editorial Diaz Santo. Pag 65. España- Madrid.

- Cojocar, C., Macoveanu, M., & Cretescu, I. (2011). Peat-based sorbents for the removal of oil spills from water surface: Application of artificial neural net-work modeling. Colloids and surfaces. En: Physicochemical and engineering aspects , 384 (1-3): 675-684.
- Contreras A. F. (2006). Comportamiento de la *Brachiaria decumbens* en pastoreo en la época lluviosa, en el área Integrada del Departamento de Santa Cruz. Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; Santa Cruz De La Sierra – Bolivia 2006. Pag. 20-32.
- Coutinho, L.M. (2000). O bioma do cerrado. Em: A. L. Klein (org.) Eugene Warming e o cerrado brasileiro – um século depois. Pp. 77-92. Editora UNESP; Imprensa Oficial do Estado. São Paulo.
- Diario El Comercio (2016). Derrame de petróleo: Un año demorará restaurar flora y fauna. Consultado de <https://elcomercio.pe/peru/derrame-petroleo-ano-demorara-restaurar-flora-fauna-272642>.
- Diario El Comercio (2017). Supervisan dos nuevos derrames de petróleo en Loreto. Consultado de <https://elcomercio.pe/peru/loreto/supervisan-dos-nuevos-derrames-petroleo-loreto-noticia-458647>.
- Diario El Comercio (2018). Petro-Perú confirma derrame de petróleo en el lote 192. Consultado de <https://elcomercio.pe/peru/petro-peru-confirma-derrame-petroleo-lote-192-noticia-525400>.
- Diario Gestión (2016). OEFA: Deterioro de oleoducto ocasionó derrames de petróleo en la selva peruana. Recuperado el 18 de Diciembre del 2017 de <https://gestion.pe/economia/oefa-deterioro-oleoducto-ocasiono-derrames-petroleo-selva-peruana-111923/>
- Diario Gestión (2016). Ministerio del Ambiente advierte riesgo de nuevos derrames en Oleoducto Norperuano. Consultado de <https://gestion.pe/economia/empresas/ministerio-ambiente-advierte-riesgo-nuevos-derrames-oleoducto-norperuano-111613>

- Diario Gestión (2017). Producción de hidrocarburos líquidos creció 20.8% anual en enero de 2017. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/produccion-hidrocarburos-liquidos-crecio-20-8-anual-enero-2017-130832>
- Diario Gestión (2018) Defensoría de Perú exige estrategia contra derrames de crudo en la Amazonía. Consultado de <https://gestion.pe/economia/defensoria-peru-exige-estrategia-derrames-crudo-amazonia-229243>.
- Diario La República (2016). “Petroperú gastó S/400 millones para atender atentados al Oleoducto” Recuperado el 08 de enero de 2018, <http://larepublica.pe/economia/988004-petroperu-gasto-s400-mllns-para-atender-atentados-al-oleoducto>
- Diario Perú 21, (2017). Alerta: Nuevo derrame de petróleo en Loreto. Obtenido de <https://peru21.pe/lima/alerta-nuevo-derrame-petroleo-loreto-87431>
- Ecured, (2015). Brachiaria decumbens. Consultado de https://www.ecured.cu/Brachiaria_decumbens
- Feedipedia (2017). Descripción de la Brachiaria decumbens. Consultado de <https://www.feedipedia.org/node/489>
- F. Li, Wu X., Wu J., Xu X., Ma S., (2008). Cinetic study of adsorption of oil from oilfield produced water using modified porous ceramics filtration media in column mode, in: The 2nd International Conference on Bioinformatics and, Biomedical Engineering, 2008, pp. 2745–2748.
- Gobierno de Canarias (2005). Consejería de medio ambiente y ordenamiento territorial. Manuales operativos documento nº 6.
- Ho, Y.; Ng, J.; McKay, G. (2000). Cinetics of pollutant sorption by biosorbents: Review. Separation & Purification Methods, 29, 189–232.
- 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.

- Hussein, M., Amer, A., & Sawsan, I., 2008. Oil spill sorption using carbonized pith bagasse: 1. 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.
- IPIECA (2016). Asociación de la industria global del petróleo y del gas para cuestiones medioambientales y sociales. Quema controlada in situ de hidrocarburos derramados. Pag. 6.
- ITOPF (2012). The international tanker owner's pollution federation limited. Use of sorbent materials in oil spill response. Technical information document Number 8. Londres, Inglaterra.
- Izquierdo, J., Cunill, F., Tejero, J., Iborra, M., & Fité, C. (2004). Cinética de las reacciones químicas. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Jiménez y Padilla (2012). Laboratorio de la Universidad De Cartagena Facultad De Ingeniería. Programa de Ingeniería Química Cartagena de Indias, D.T Y C. 2012-Colombia. Pag. 81.
- Knight R., P. J., Borer R., Clarke J. And Pries J. (2012). Constructed wetlands for treatment of hydrocarbons. *Ecological Engineering*, 15, pp. 41-55.
- 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.
- Méndez-Tovar, Marcela; Machado-Soberanes, J.A.; Guerra Sánchez, R. (2012), Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de hidrocarburos sobre cinco materiales adsorbentes tipo II utilizando un método estandarizado internacional, Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C Monterrey, México pág. 97, 98, 99.

- Mestanza M. M., (2012). Estudio de materiales adsorbentes para el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Ingeniería Química I. Pag: 19.
- Ministerio de Energía y Minas. MINEM (2017). Respuesta del Ministerio de Energía y Minas frente a los derrames acontecidos en el Oleoducto Norperuano. Comisión Investigadora Multipartidaria, 14 de febrero de 2017. Gonzalo Tamayo Flores. Pág. 3.
- Miranda Z. H., (2009). Adaptación y productividad de seis gramíneas forrajeras en Puerto Díaz, Chontales, Nicaragua, / Universidad Nacional Agraria Managua, Abril 2009.
- Narváez, (2002). El componente socioambiental de la industria hidrocarburífera. Petroecuador y Universidad Central del Ecuador, Serie petróleo y ambiente.
- Nomack, M., 2010. Oil spill control technologies. Recuperado el 20 de 01 de 2012, de Encyclopedia of Earth, URL: <http://www.eoearth.org/articles/view/158385/?topic=50366>
- Olivera Yuseika, Machado, R. & Del Pozo P .P. (2006). Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. Pastos y Forrajes. 29(1):37.
- Ortiz, D., Andrade, F., Rodríguez, G., & Montenegro, L., 2006. Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. En: Ingeniería e Investigación, 26 (2): 20-27.
- Petroblogger (2017). Definición Del Oleoducto Nor-Peruano. Consultado el 23 de Octubre del 2017 de <http://www.ingenieriadepetroleo.com/oleoducto-nor-peruano-recorrido-estaciones-caracteristicas/>
- Petroperú (2015), Petróleos del Perú S.A, Petroperú– Wood Mackenzie. Plan Estratégico Corporativo del 2015 al 2030 de Petroperú. Modernización de Petroperú. Formulación de la Estrategia Corporativa, Informe 2. Pág.: 122.
- Petroperú (2016), Petróleos del Perú S.A Petroperú. Memoria de sostenibilidad 2016.

- Petroperú (2016). Petróleos del Perú S.A- Petroperú. Oleoducto Norperuano. Obtenido de <https://www.petroperu.com.pe/Main.asp?Seccion=550>.
- Pérez T. L. V., (2017). Pontificia Universidad Católica del Perú- Escuela De Posgrado.,. Estudio de la capacidad de adsorción de las arcillas organofílicas en la remoción de nitrofenoles y clorofenoles. Pag. 5.
- Pitelli R. A. e Pavani M. C. M. D., (2005). Feralidade vegetal e transgeniase. Bio Tecnologia Ciencia e Desenvolvimento 34: 1-100.
- Pivello V. R. (2005). Invasões Biológicas no Cerrado Brasileiro: Efeitos da introdução de especies exóticas sobre a Biodiversidade. ECOLOGIA.INFO 33. Extraído de <http://www.ecologia.info/cerrado.htm>, el 12 de Julio de 2017.
- Rafatullah, M.; Sulaiman, O.; Hashim, R.; Ahmad, A. (2010) Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. Journal of Hazardous Materials 2010, 177, 70–80.
- Rajakovic V.-Ognjanovic', Aleksic' G., Rajakovic' L. (2008) , Governing factors for motor oil removal from water with different sorption materials, J. Hazard. Mater. 154 (1–3) (2008) 558–563.
- Rincón C., Ligarreto M. y Garay E. (2008). Producción de forraje en los pastos *Brachiaria decumbens* cv. amargo y *Brachiaria brizantha* cv. toledo, sometidos a tres frecuencias y a dos intensidades de defoliación en condiciones del piedemonte llanero colombiano. Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, vol. 61.
- Romero, J., (2000). Purificación del agua. Tercera edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá - Colombia.
- 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

Sayed, S., & Zayed, A., 2005. Investigation of the effectiveness of some adsorbent materials in oil spill clean-ups. En: Desalination, 194 (1-3): 90-100.

Scientific American (2016). Derrames de petróleo tiñen la amazonia peruana. por Rodríguez M. E. Recuperado el 20 de diciembre del 2017 de <https://www.scientificamerican.com/espanol/noticias/derrames-de-petroleo-en-la-amazonia-peruana/>

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

Tansel B., Vilar F., (2005) Enhancement of media filter performance with coagulant use for treatment of diesel oil contaminated surface water, Desalination 173, Pag. 69 –76.

Teresopolis (2016). Petroperú S.A - Portafolio de proyecto: Servicio de suministro e instalación del revestimiento polyguard RD-6 para línea de transferencia buque-terminal ppal. Obtenido de: <http://www.teresopolis.com.pe/petroperu/>.

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

Utilities Perú, (2017). Comisión investigadora multipartidaria para determinar las responsabilidades de los funcionarios y personas naturales e instituciones públicas y privadas que resulten responsables por los derrames de petróleo ocurrido en el Oleoducto Norperuano. Tercera sesión ordinaria. Oleoducto Norperuano; Ing. César Gutiérrez Peña Director de Utilities Perú.

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

Vlaev, L., Petkov, P., Dimitrov, A., & Genieva, S. (2011). La limpieza del agua contaminada con petróleo crudo o combustible diesel usando ceniza de cascarilla de arroz. Revista del Instituto de Ingenieros Químicos de Taiwán, 42 (6): 957-964.

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

Whelan, R.J. (1995). The ecology of fire. Cambridge University. Press, 346p.

Wikipedia (2016). Revisado el 17 de Setiembre del 2016. Petróleo. Obtenido de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Petroleo>.

ANEXOS

Anexo 1 – Descripción de los adsorbentes empleados en la presente investigación

Tabla 14. Descripción general del bioadsorbente

Propiedades	Características
Tipo de adsorbente (ASMT F726-12)	Tipo II
Naturaleza	Orgánico
Longitud	0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 y 2,50 cm
Color	Verde-amarillo
Humedad	10.07%
Capacidad	Hasta 7,8 veces su peso
Usos	Recomendado para petróleo crudo 24 °API

Tabla 15. Descripción general del adsorbente comercial sintético

Propiedades	Características
Tipo de adsorbente (ASMT F726-12)	Tipo II
Naturaleza	Sintético (100% polipropileno)
Tamaño	Variable
Color	Blanco
Capacidad	Hasta 20 veces su peso
Usos	Petróleo crudo y aceites industriales

Tabla 16. Descripción general del adsorbente comercial orgánico

Propiedades	Características
Tipo de adsorbentes (ASMT F726-12)	Tipo II
Naturaleza	Orgánico (Composición desconocida)
Tamaño	Variable
Color	Marrón
Capacidad	Hasta 12 veces su peso
Usos	Petróleos, aceites orgánicos de uso industrial marítimo y derivados petroquímicos

Anexo 2 – Resultados de capacidad de adsorción de los adsorbentes empleados en la investigación

Tabla 17. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API de las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens* para longitudes de 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 y 2,50 cm y tiempos de ensayo de 10, 15 y 20 minutos.

Longitud (cm)	Prueba	Tiempo (min)	Peso (g)			Cad (g petróleo/ gramos adsorbente)
			So	Sf	Sf-So	
0.25	P01	10	4,01	34,74	30,73	7,66
			4,01	33,85	29,84	7,43
			4,01	34,15	30,14	7,51
	P02	15	4,01	35,39	31,37	7,81
			4,01	35,61	31,60	7,87
			4,01	34,96	30,95	7,71
	P03	20	4,01	34,99	30,98	7,72
			4,01	33,70	29,69	7,39
			4,01	35,25	31,23	7,79
0.50	P04	10	4,01	31,23	27,22	6,79
			4,01	32,25	28,24	7,04
			4,01	31,53	27,52	6,86
	P05	15	4,01	32,21	28,20	7,03
			4,01	31,66	27,64	6,89
			4,01	32,96	28,95	7,22
	P06	20	4,01	31,60	27,58	6,87
			4,01	31,71	27,69	6,90
			4,01	30,51	26,50	6,61
1.00	P07	10	4,01	28,68	24,66	6,14
			4,01	27,69	23,68	5,90
			4,01	28,92	24,91	6,20
	P08	15	4,01	30,42	26,42	6,59
			4,01	30,00	25,98	6,47
			4,01	30,36	26,34	6,56
	P09	20	4,01	29,17	25,16	6,28
			4,01	30,71	26,70	6,65
			4,01	28,93	24,91	6,21
1.50	P10	10	4,01	27,53	23,51	5,86
			4,01	28,75	24,74	6,17

2.00	P11	15	4,01	27,58	23,57	5,88
			4,01	30,79	26,77	6,67
			4,01	29,37	25,35	6,31
			4,01	28,26	24,24	6,04
	P12	20	4,01	29,84	25,83	6,44
			4,01	27,89	23,88	5,95
			4,01	28,87	24,86	6,19
	P13	10	4,01	27,44	23,42	5,84
			4,01	28,10	24,09	6,01
			4,01	27,17	23,16	5,77
	P14	15	4,01	28,64	24,63	6,14
			4,01	28,89	24,88	6,20
			4,01	29,12	25,10	6,25
2.50	P15	20	4,01	27,80	23,79	5,93
			4,01	27,58	23,57	5,87
			4,01	28,23	24,22	6,03
	P16	10	4,01	25,18	21,17	5,27
			4,01	26,09	22,08	5,50
			4,01	26,43	22,42	5,59
	P17	15	4,01	27,34	23,33	5,81
			4,01	27,17	23,16	5,77
			4,01	27,27	23,26	5,80
	P18	20	4,01	27,58	23,56	5,87
			4,01	26,63	22,62	5,63
			4,01	26,02	22,01	5,48

Nota: So: Peso inicial del bioadsorbente, Sf: peso final del bioadsorbente, Cad: Capacidad de adsorción.

Tabla 18. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API del adsorbente comercial sintético (TC1) y el adsorbente comercial orgánico (TC2) con tiempos de adsorción de 10, 15 y 20 minutos.

Tipo	Prueba	Tiempo (min)	Peso (g)			Cad (g petróleo/ g adsorbente)
			So	Sf	Sf-So	
TC1	P19	10	4,01	51,40	47,39	11,80
			4,01	50,11	46,10	11,49
			4,01	52,81	48,80	12,16
	P20	15	4,01	53,07	49,06	12,22
			4,01	51,24	47,22	11,76
			4,01	51,61	47,60	11,86
	P21	20	4,01	51,80	47,79	11,91
			4,01	51,32	47,30	11,78
			4,01	51,74	47,73	11,89
TC2	P22	10	4,01	44,88	40,87	10,19
			4,01	46,64	42,63	10,63
			4,01	45,14	41,13	10,25
	P23	15	4,01	45,07	41,06	10,23
			4,01	44,36	40,35	10,05
			4,01	44,93	40,91	10,19
	P24	20	4,01	42,36	38,34	9,55
			4,01	43,62	39,61	9,87
			4,01	41,23	37,22	9,27

Nota: So: Peso inicial del bioadsorbente, Sf: peso final del bioadsorbente, Cad: Capacidad de adsorción.

Tabla 19. Resultados experimentales de la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API del bioadsorbente con un tamaño longitudinal de 0,25 cm y dosis de 02 y 06 gramos con tiempos de adsorción de 10, 15 y 20 minutos.

Dosis (g)	Tiempo (min)	Peso			Cad (g petróleo/ g adsorbente)
		So (g)	Sf (g)	Sf-So (g)	
02	10	2,01	17,36	15,35	7,63
		2,01	17,20	15,18	7,54
		2,01	17,42	15,40	7,65
	15	2,01	17,18	15,16	7,53
		2,01	18,15	16,13	8,02
		2,01	17,59	15,58	7,74
	20	2,01	17,16	15,14	7,52
		2,01	17,41	15,40	7,65
		2,01	17,99	15,98	7,94
06	10	6,01	51,62	45,60	7,58
		6,01	50,95	44,94	7,47
		6,01	51,34	45,33	7,54
	15	6,01	52,49	46,48	7,73
		6,01	51,99	45,98	7,64
		6,01	52,36	46,35	7,71
	20	6,01	51,47	45,45	7,56
		6,01	52,01	45,99	7,65
		6,01	51,87	45,86	7,63

Nota: So: Peso inicial del bioadsorbente, Sf: peso final del bioadsorbente, Cad: Capacidad de adsorción.

Tabla 20. *Análisis de varianza (ANOVA) adicional para la capacidad de adsorción de petróleo crudo 24 °API con dosis de 02, 04 y 06 gramos.*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,212	8	,026	1,316	,297
Intersección	1581,061	1	1581,061	78677,590	,000
Tiempo	,171	2	,085	4,246	,031
Dosis	,027	2	,014	,672	,523
Tiempo * Dosis	,014	4	,003	,173	,950
Error	,362	18	,020		
Total	1581,634	27			
Total corregido	,573	26			

Tabla 21. *Análisis de Duncan adicional de la variable tiempo de adsorción para dosis de 02, 04 y 06 gramos.*

Tiempo de adsorción	N	Subconjunto	
		1	2
10 minutos	9	7,5564	
20 minutos	9	7,6494	7,6494
15 minutos	9		7,7511
Sig.		,181	,145

Nota Alfa = 0.05

Anexo 3 - Formato y resultados de los análisis realizados en la investigación

<u>FORMATO DE CAPACIDAD DE ADSORCION</u>					
Método: ASTM F726-12 – Adsorbente tipo II			Material:		
Tamaño del adsorbente:			Fecha:		
Cantidad (g):					
Tiempo de ensayo:			Tratamiento: T...		
Peso inicial del recipiente (g)	Hora		So	Sf	Peso final recipiente(g)
	Inicio	Final			

Dónde: So: peso inicial en seco del bioadsorbente, Sf: Peso final del bioadsorbente

Figura 16. Formato de capacidad de adsorción para los ensayos realizados en la presente investigación.



**CARGO DE ENTREGA Y RECEPCIÓN DE 02 GALONES DE CRUDO PARA TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

Por el presente documento, Petróleos del Perú – PETROPERÚ S.A., Refinación Conchán, deja constancia de la entrega de 02 galones de crudo como apoyo a investigación del Sr. Mijail Elvis Huaracha Vilchez de la Universidad Nacional de Ucayali, sobre bioadsorbentes naturales de petróleo crudo.

Esta colaboración responde a solicitud presentada mediante Oficio N° 0086-2017-UNU/VRACAD/FCsFyA.

Lurín, 06 de marzo de 2017

ENTREGADO POR:

Berenice Rodríguez Vargas
Supervisora Responsabilidad Social
Ficha: 57890

RECIBIDO CONFORME POR:

NOMBRE: MIJAIL HUARACHA VILCHEZ
N° DNI: 45459641

Figura 17. Constancia de entrega de 02 galones de petróleo crudo por parte de la empresa PETROPERU-Refinería Conchán



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



CERTIPETRO

CENTRO DE CERTIFICACIÓN, INSPECCIÓN Y ENSAYOS DE
PRODUCTOS PETROLEROS, GAS NATURAL Y DERIVADOS

INFORME DE ENSAYOS N° IE -102617

IE N° 102617/Página 1 de 1

1. INFORMACIÓN GENERAL			
1.1	Solicitante (Nombre Legal)	MIJAIL HUARACHA VILCHEZ	
1.2	Dirección Legal	Av. Saens Peña N° 629 - Calleria Pucallpa	
1.3	Provincia / Departamento	Pucallpa/Ucayali	
1.4	Teléfonos / Fax	961016728	
1.5	Registro Único del Contribuyente (N°)	45459641	
1.6	Solicitud para Servicios de Ensayos (N°)	SS-020-17	
1.7	Fecha de Recepción de Solicitud	2017-03-07	
1.8	Ensayos / Servicios Solicitados	01 Ensayo Fisicoquímico	
1.9	Fecha de Inicio de Ensayo	2017-03-07	
1.10	Fecha de Término de Ensayo	2017-03-07	
2. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO			
2.1	Producto (Nombre Genérico)	-----	
2.2	Identificación de las Muestras Recepcionadas	-----	
2.3	Marca Comercial o Especial de las Muestras	CRUDO	
2.4	Número de Muestras Recepcionadas	01	
2.5	Cantidad de Muestra Recepcionada	500 mL aprox.	
2.6	Forma de Presentación de las Muestras	Envase de plástico	
3. RESULTADOS			
Item	ENSAYOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO	RESULTADOS OBTENIDOS
3.1	Gravedad API, (°API)	ASTM D287-12b	24.0
4. OBSERVACIONES			

Especificaciones sobre el uso del Informe de Ensayos:			
- El presente informe de ensayos se refiere únicamente 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 calendario, 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, 08 de Marzo del 2017			
			
		ING. CARLOS RUIZ GARAY DIRECTOR TÉCNICO DE CERTIPETRO	

Formato DTL-005.03

Av. Túpac Amaru 210, Rimac. Pabellón D-1. Telefax: 381-3845 Central: 481-1070 Anexo 286
E-mail: osc_cert@fip.uni.edu.pe / certipetro@fip.uni.edu.pe / www.certipetro.com.pe

Figura 18. Análisis de la Gravedad API (°API) del petróleo crudo utilizado en la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Laboratorio de Análisis de Físico Químico de Alimentos

INFORME DE ENSAYOS N° 34 LAFQA-91-09-01-2018)

Producto : Hojas secas de Gramínea Brachiaria Decumbens
Marca : s/m
Identificación de muestra : s/i
Número de muestras : 01
Cantidad recibida : 250g aprox.
Forma de presentación : 01 bolsa
Fecha de recepción : 22/12/2017
Ensayo solicitado : Determinación de:

Resultados:

Muestra	Ensayos	Resultados en BH
Hojas secas de Gramínea Brachiaria Decumbens	Determinación de Humedad	10.07 %
	Determinación de Grasa	2.75 %
	Determinación de Fibra	25.54 %

Métodos utilizados en el laboratorio:

- Determinación de Humedad según el método AOAC 950.46
- Determinación de Grasa según el método AOAC 948.16
- Determinación de fibra según el método AOAC 920.98

Observaciones:

- El muestreo, las condiciones de muestreo hasta su ingreso a los Laboratorios de Análisis Físico-Químico de Alimentos -FIAL-UNALM son de responsabilidad del solicitante
- Los resultados son válidos sólo para la cantidad recibida

La Molina, 09 de Enero del 2018

Dra. Patricia Glorio Paulet
Jefe del Laboratorio de Análisis
Físico-Químico de Alimentos
FIAL-UNALM



Figura 19. Análisis de humedad, fibra y grasa de las hojas secas de la gramínea *Brachiaria decumbens*

Anexo 4 - Panel fotográfico



Figura 20. Población de gramínea *Brachiara decumbens* ubicado en los campos agrícolas del Distrito de Neshuya



Figura 21. Planta de *Brachiara decumbens* en primer plano



Figura 22. Muestra recolectada de la gramínea *Brachiara decumbens*



Figura 23. Selección de las hojas de la gramínea *Brachiara decumbens*



Figura 24. Hojas seleccionadas de la gramínea *Brachiaria decumbens*



Figura 25. Secado de las hojas en estufa de aire forzado para la obtención del bioadsorbente



Figura 26. Dimensionado del bioadsorbente según la longitud requerida



Figura 27. Muestras bioadsorbentes seccionadas en longitudes de 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 y 2.50 cm



Figura 28. Almacenamiento de las muestras bioadsorbentes

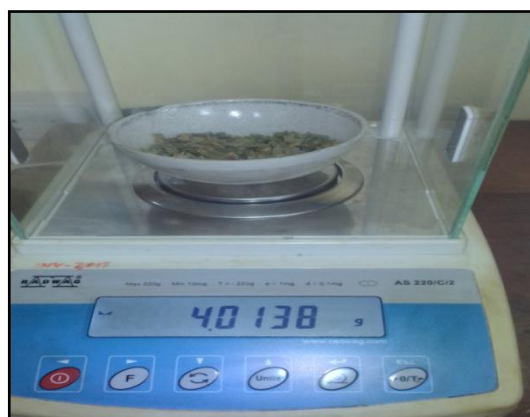


Figura 29. Pesaje de muestra bioadsorbente antes del ensayo



Figura 30. Procedimiento de puesta de la muestra bioadsorbente en la cesta de adsorción



Figura 31. Bioadsorbentes de diferente longitud en pleno ensayo



Figura 32. Procedimiento de puesta y retiro de la cesta de adsorción.

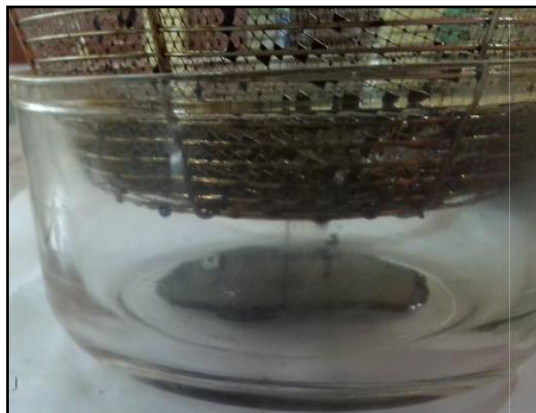


Figura 33. Proceso de drenado.



Figura 34. Muestra bioadsorbente ensayada listo para el pesaje



Figura 35. Pesaje de la muestra bioadsorbente después del ensayo



Figura 36. Muestras bioadsorbentes antes y después del ensayo.



Figura 37. Muestra de adsorbente comercial sintético (TC1).



Figura 38. Muestra de adsorbente comercial sintético (TC1) en pleno ensayo.



Figura 39. Muestra de adsorbente comercial orgánico (TC2) antes y después del ensayo.



Figura 40. De izquierda a derecha: Bioadsorbente (TB1), adsorbente comercial sintético (TC1), adsorbente comercial orgánico (TC2).