

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

“Capacidad de adsorción de aceites y grasas en aguas residuales municipales utilizando cáscara de coco modificado mediante el proceso de pirolisis”

Para obtener el grado de Ingeniero Sanitario.

Elaborado por

Diego Homero Parra Arteaga

 [0009-0008-1973-3462](https://orcid.org/0009-0008-1973-3462)

Asesor

Dra. Ing. Rosa Elena Yaya Beas

 [0000-0002-6140-4266](https://orcid.org/0000-0002-6140-4266)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Parra Arteaga [1]
Referencia/Reference	[1] D.H. Parra-Arteaga, “ <i>Capacidad de adsorción de aceites y grasas en aguas residuales municipales utilizando cáscara de coco modificado mediante el proceso de pirolisis</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Parra-Arteaga, 2024)
Referencia/Reference	Parra-Arteaga, D.H. (2024). <i>Capacidad de adsorción de aceites y grasas en aguas residuales municipales utilizando cáscara de coco modificado mediante el proceso de pirolisis</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Con gratitud y amor a mis padres, su apoyo incondicional ha sido mi fuerza. Nunca se rindieron y me enseñaron a persistir. Hoy, dedico mis éxitos a su sacrificio. Les prometo seguir adelante con amor y gratitud.

Resumen

En esta investigación, se estudió la capacidad de adsorción aceites y grasas a través del carbón activado elaborado a partir de la cáscara de coco producido a 500°C durante una hora mediante un proceso de pirólisis. Se demostró que una relación directa entre la masa de carbón y el volumen de agua recuperada, y a medida que aumentaba la masa, el volumen de agua perdida disminuía. Las pruebas mostraron una eficiencia promedio de 93%, 86.5%, 81.2% y 70.1% para los volúmenes de 5%, 10%, 15% y 25% respectivamente. El carbón activado producido por pirólisis demostró ser altamente eficiente en la adsorción de aceites y grasas, con la máxima eficacia observada al usar un 5% de carbón activado. Además, el método gravimétrico líquido-líquido determinó una eficiencia de remoción de aceites y grasas de alrededor del 98.6% en promedio al usar 25 g de carbón activado.

Palabras clave: carbón activado, cáscara de coco, pirólisis, aceites, grasas, adsorción.

Abstract

In this research, the adsorption capacity of oils and fats through activated carbon made from coconut shell produced at 500°C for one hour by a pyrolysis process was studied. A direct relationship was shown between the mass of charcoal and the volume of water recovered, and as the mass increased, the volume of water lost decreased. The tests showed an average efficiency of 93%, 86.5%, 81.2% and 70.1% for the 5%, 10%, 15% and 25% volumes, respectively. Activated carbon produced by pyrolysis proved to be highly efficient in adsorbing oils and fats, with the maximum efficiency observed when using 5% activated carbon. In addition, the liquid-liquid gravimetric method determined an oil and grease removal efficiency of about 98.6% on average when using 25 g of activated carbon. Keywords: activated carbon, coconut shell, pyrolysis, oils, fats, efficiency, adhesion, mass, removal.

Tabla de contenido

Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	xiii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Objetivos del estudio	1
1.3.1 Objetivo Principal	1
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Antecedentes investigativos	2
1.5 Hipótesis	6
1.5.1 Hipótesis general	6
1.5.2 Hipótesis específica	6
2. Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....	7
2.1 Marco teórico.....	7
2.1.1 Agua residual doméstica	7
2.1.2 Aceites y grasas.....	7
2.1.3 Lípidos	7
2.1.4 Biomasa y Residuos Lignocelulósicos.....	8
2.1.5 Biochar (Biocarbón)	8
2.1.6 Coco	9
2.1.7 Carbón activado (C.A.).....	10
2.1.8 Propiedades físicas y químicas del carbón activado	13
2.1.9 Adsorción	14

2.1.10 Activación del carbón activado	15
2.1.11 Éter de Petróleo o bencina.....	16
2.1.12 Hexano	16
2.2 Marco conceptual	17
2.2.1 Muestra sintética.....	17
3. Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	18
3.1 Recolección de insumos para la elaboración de la muestra sintética	18
3.2 Preparación del carbón activado de cáscara de coco.....	18
3.2.1 Adquisición, limpieza y triturado.....	18
3.2.2 Homogenización de tamaño de partícula	18
3.2.3 Impregnación química de los residuos celulósicos de coco.....	19
3.2.4 Activación pirolítica de los residuos celulósicos de coco	20
3.3 Determinación de la capacidad de adsorción de aceites y grasas del carbón activado producido pirolíticamente	21
3.3.1 Preparación de la muestra sintética	22
3.3.2 Pesado de carbón activado de coco.....	23
3.3.3 Proceso de agitación magnética para adsorción	24
3.3.4 Proceso de filtrado	25
3.3.5 Medición del volumen recuperado.....	26
3.3.6 Interpretaciones, cuantificaciones y pruebas estadísticas	27
3.4 Determinación de la concentración aceites y grasas mediante el método gravimétrico líquido- líquido.....	28
3.4.1 Solventes para determinar la concentración de aceites y grasas	28
3.4.2 Preparación de la muestra a analizar	29

3.4.3 Extracción de la muestra a analizar.....	29
3.4.4 Extracción del solvente	30
3.4.5 Agitación y destilación.....	31
3.5 Determinación de la capacidad de adsorción de aceites y grasas del carbón activado comercial.....	32
3.5.1 Caracterización del carbón activado comercial	33
3.5.2 Comparación de eficiencias de adsorción	33
3.6 Diseño de experimentos y planteamiento experimental.....	34
3.6.1 Determinación del número de experimentos	34
3.6.2 Esquema de la investigación.....	37
3.6.3 Periodo de la investigación	37
4. Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....	38
4.1 Resultados	38
4.2 Discusión de resultados	40
4.2.1 Adsorción de la grasa a porcentaje en volumen constante.....	40
4.2.2 Adsorción de grasa a masa constante	66
4.2.3 Contrastación del uso de bencina	79
4.2.4 Discusión de resultados de la concentración de de aceites y grasas mediante el método gravimétrico líquido- líquido	80
4.2.5 Adsorción de aceites y grasas del carbón activado comercial	86
Conclusiones	87
Recomendaciones	89
Referencias bibliográficas.....	90
Anexos	95

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Estructura del carbón</i>	11
Figura 2	<i>Representación esquemática de la estructura del carbón activado</i>	11
Figura 3	<i>Gránulo de carbón activado</i>	13
Figura 4	<i>Diagrama de preparación de carbón activado</i>	21
Figura 5	<i>Diagrama de preparación de la muestra sintética</i>	23
Figura 6	<i>Diagrama del pesado del carbón activado</i>	24
Figura 7	<i>Diagrama de agitación magnética para adsorción.....</i>	25
Figura 8	<i>Diagrama del proceso de filtrado.....</i>	26
Figura 9	<i>Diagrama de extracción de muestra.....</i>	30
Figura 10	<i>Diagrama de flujo de extracción de solvente</i>	30
Figura 11	<i>Diagrama de agitación y destilación</i>	32
Figura 12	<i>Esquema de investigación</i>	37
Figura 13	<i>Curva de resultados experimental Volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 5% de aceite</i>	42
Figura 14	<i>Caja de bigotes con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%).....</i>	43
Figura 15	<i>Curva resultados experimentales corregidos del volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%)</i>	45
Figura 16	<i>Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%)</i>	46
Figura 17	<i>Caja de bigotes con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%).....</i>	49
Figura 18	<i>Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)</i>	51
Figura 19	<i>Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)</i>	52
Figura 20	<i>Caja de bigotes con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%).....</i>	55

Figura 21	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)	57
Figura 22	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)	58
Figura 23	Caja de bigotes con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%).....	61
Figura 24	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)	63
Figura 25	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)	64
Figura 26	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada con m= 5 g	68
Figura 27	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida con m= 5 g	69
Figura 28	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada con 10 g de masa de carbón activado	71
Figura 29	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida con masa 10 g	72
Figura 30	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada con 15 g de carbón activado	74
Figura 31	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida con m= 15 g	75
Figura 32	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada con m=20 g	77
Figura 33	Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida con m= 20 g	78
Figura 34	Curva resultados experimentales de uso de bencina y hexano para la medición de aceites y grasas en una muestra sintética.....	80
Figura 35	Curva resultados experimentales Determinación de las concentraciones de las muestras sintéticas	82
Figura 36	Curva resultados experimentales determinación de las concentraciones de las muestras sintéticas	85

Índice de tablas

Tabla 1	Principales aplicaciones del carbón activado	12
Tabla 2	Volúmenes de insumos para la muestra sintética.....	22
Tabla 3	<i>Variables para el diseño de experimento</i>	34
Tabla 4	<i>Corridas de pruebas y combinación de códigos estadísticos</i>	35
Tabla 5	<i>Resultados experimentales</i>	38
Tabla 6	<i>Resultados experimentales con una concentración en volumen del 5 % de aceite</i>	41
Tabla 7	<i>Resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%)</i>	44
Tabla 8	<i>Eficiencia de resultados experimentales con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%)</i>	47
Tabla 9	<i>Resultados experimentales con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)</i>	48
Tabla 10	<i>Resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)</i>	50
Tabla 11	<i>Eficiencia de resultados experimentales con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)</i>	52
Tabla 12	<i>Resultados experimentales con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)</i>	54
Tabla 13	<i>Resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)</i>	56
Tabla 14	<i>Eficiencia de resultados experimentales con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)</i>	59
Tabla 15	<i>Resultados experimentales con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)</i>	60
Tabla 16	<i>Resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)</i>	62
Tabla 17	<i>Eficiencia de resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)</i>	65
Tabla 18 coco	<i>Resultados experimentales corregidos con 5g de carbón activado de</i>	66

Tabla 19	<i>Resultados experimentales corregidos con 10g de carbón activado de coco</i>	70
Tabla 20	<i>Resultados experimentales corregidos con 15g de carbón activado de coco</i>	73
Tabla 21	<i>Resultados experimentales corregidos con 20g de carbón activado de coco</i>	76
Tabla 23	<i>Resultados experimentales determinación de las concentraciones de las muestras sintéticas</i>	81
Tabla 24	<i>Resultados experimentales de la determinación experimental de las concentraciones de aceites y grasas con el método gravimétrico líquido-líquido</i>	83
Tabla 25	<i>Resultados experimentales del carbón comercial</i>	86

Introducción

La cáscara de coco, recurso natural versátil y abundante, enfrenta limitaciones en su aprovechamiento debido a diversas problemáticas. Estas incluyen la carencia de infraestructura para el procesamiento masivo y la dificultad en la trituración debido a su dureza. La falta de conciencia sobre sus usos y los desafíos en transporte y almacenamiento también afectan su utilización.

Estos problemas podrían resolverse con iniciativas que promuevan la investigación y el desarrollo de tecnologías accesibles y sostenibles para la cáscara de coco. La cáscara de coco puede transformarse en carbón activado, especialmente eficaz en el tratamiento del agua debido a su alta capacidad de adsorción.

El carbón activado resultante de la cáscara de coco puede capturar compuestos orgánicos, productos químicos y metales pesados, lo que lo hace valioso en el tratamiento de aguas municipales y en aplicaciones industriales. Sin embargo, su potencial aún no se aprovecha plenamente debido a falta de concienciación y a obstáculos en infraestructura y transporte.

En resumen, la cáscara de coco es un recurso infrautilizado debido a desafíos en su procesamiento, concienciación y transporte. Transformarla en carbón activado podría solucionar problemas de tratamiento de aguas y cumplir con estándares medioambientales en aguas residuales. Su aprovechamiento integral requiere colaboración, investigación y tecnologías accesibles.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

En este trabajo se ha propuesto como solución innovadora, el uso de carbón activado de coco obtenido a partir de la pirólisis de la cáscara de coco. Este método mejora la concentración de aceites y grasas en los efluentes, actuando como un agente de adsorción para retener los compuestos orgánicos y reducir la contaminación. Además, el carbón activado de coco es un recurso natural y renovable, brindando una solución sostenible para el tratamiento de efluentes domésticos.

1.2 Descripción del problema de investigación

La investigación se centró en explorar y determinar la capacidad de adsorción de aceites y grasas por parte de los residuos de cáscara de coco. El problema científico fue en la necesidad de investigar si este material, poseían propiedades de adsorción que le permitieran retener de manera efectiva los compuestos grasos, lo que podría tener implicaciones significativas en el tratamiento de aguas residuales con concentraciones de aceites y grasas.

Al obtener información precisa y cuantitativa sobre la capacidad de adsorción de aceites y grasas por parte de los residuos de cáscara de coco, se podría determinar su potencial aplicación en el tratamiento de estas, contribuyendo así a la búsqueda de soluciones alineada a los objetivos de desarrollo sostenibles que sean eficaces para la reducción de contaminantes grasos en el agua.

1.3 Objetivos del estudio

Evaluar la eficiencia de adsorción de aceites y grasas utilizando carbón activado a base de cáscara de coco obtenida mediante el proceso de pirólisis.

1.3.1 *Objetivo Principal*

Valorar cuantitativamente la capacidad de adsorción de aceites y grasas utilizando cáscara de coco activado mediante el proceso de pirólisis

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia en la adsorción de aceites y grasas mediante carbón activado elaborado con cáscara de coco.
- Determinar la concentración en mg/L de las muestras sintéticas que contienen aceites y grasas.
- Cuantificar el volumen recuperado y perdido de agua tras uso del carbón activado en una muestra sintética que contiene aceites y grasas.
- Validar el uso de la bencina como solvente para la medición de concentración de aceites y grasas mediante el método gravimétrico líquido - líquido.
- Validar la eficiencia de adsorción del carbón activado producido mediante pirólisis comparándolo con un carbón activado comercial estándar

1.4 Antecedentes investigativos

Gutierrez y Zapata (2011) llevaron a cabo la extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de semilla de coroba con tres solventes diferentes: acetona, hexano y éter de petróleo (Bencina). Los aceites extraídos fueron sometidos a análisis para determinar su índice de acidez, índice de peróxido e índice de yodo. En la investigación se demostró que no existen diferencias significativas entre los aceites extraídos con los diferentes solventes. Los resultados indicaron que el índice de acidez promedio para el aceite extraído con acetona fue de 0.31117, mientras que para el hexano y el éter de petróleo fue de 0.3235 y 0.3059 respectivamente.

Martines de Yuso (2012) desarrolló carbones activados utilizando cáscara de almendra para la adsorción y recuperación de dos compuestos orgánicos volátiles, tolueno y n-hexano, presentes en bajas concentraciones en corrientes de gas. En su experimentación realizó una activación química utilizando ácido fosfórico (H_3PO_4), y varió la atmósfera entre inter y oxidante en cada activación. Producto de los ensayos revelaron que los carbones activados presentaban áreas específicas elevadas (mayores de 1100 m^2/g en muchos casos) y una gran cantidad de grupos funcionales oxigenados ácidos, como resultado de la activación con el ácido. Además, concluyó que las mejores

capacidades de impregnación estos se producían al obtener el carbón activado a bajas y medianas temperaturas de activación, teniendo adsorciones superiores al 60% en peso para el tolueno ($C_6H_5CH_3$) y superiores al 40% para el n-hexano (C_6H_{14}).

Jiménez (2014) realizó un trabajo elaborando carbón activado con residuos de piña variando entre 10 y 30 mL de volumen del ácido fosfórico (H_3PO_4) que actuó de agente activante y la temperatura de pirólisis (500, 550 y 600°C). Su producción de carbón activado fue de aproximadamente 5.50 % para la corona de piña con 10 mL de ácido a 500 °C y 11.50 % para la cáscara de la piña, con 30 mL de ácido a 550°C. Finalmente, se usó la prueba de azul de metileno a 100 ppm para medir la capacidad de adsorción de los carbones activados teniendo remociones superiores al 90% siendo así considerados carbones activados meso porosos por su diámetro promedio de poro.

Bravo y Garzón (2017) evaluaron la efectividad del carbón activado derivado del residuo agroindustrial de coco para la eliminación de contaminantes del agua. El rendimiento de producción entre la materia prima y el carbón activado fue de 3 a 1, con este se llevaron a cabo análisis físicos del agua, como la medición de sólidos suspendidos, cloro libre residual, turbidez, color y pH los cuales se sacaron promedios y se obtuvo que el mejor resultado experimental obtuvo una remoción de 75.68% y fue realizado con 100 g de carbón activado por el cual se filtró 1000 mL de agua sintética.

Condor y Maza (2020) determinaron la eficiencia de remoción de plomo usando carbón activado del endocarpio de aceituna y de la cáscara de coco la muestra a usar fue el agua de consumo humano de la población de Positos – Morrope, como resultado se comprobó que la efectividad para remoción ronda los 80-96.1% para la aceituna y de 94-96.4 para el coco.

Rondón et al. (2020) realizaron estudios sobre el uso de cáscara de coco como un residuo filtrante alternativo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de El Salto. La metodología constaba de 2 procesos, primero se caracterizó las condiciones iniciales, luego se procedió a pulverizar la cáscara de coco en distintos diámetros de partícula (1 mm, 2 mm y 3 mm), para así ver el porcentaje de adsorción que presentaban

de acuerdo con los distintos diámetros de partícula. Al aplicar el medio filtrante, se tuvo como resultado que el tamaño de partícula 2 mm presentaba los mejores resultados obteniéndose 68.82 % para la remoción de sólidos y de 98.50 % de eficiencia de adsorción de aceites y grasas.

Sanchez y Yagkug (2020) Para la obtención de la concentración de aceites y grasas en mg/L de las aguas residuales utilizó el método gravimétrico líquido-líquido en que involucra el uso de la bencina en una pera de decantación. De este estudio se concluyó que la muestra de la PTAR contiene inicialmente 31.2 mg/L y luego del tratamiento con un destilador solar se obtuvo como medición final 0.0 mg/L aceites y grasas lo que contrasta que el método es válido para cuantificaciones de las concentraciones en efluentes domésticos.

Lewoyehu (2021) realizó un estudio sobre la comparación de distintos adsorbentes, entre ellos: "cáscara de arroz, salvado de trigo, cáscara de coco, cáscara de trigo, residuos de té"; estableciendo un tratamiento térmico, que permitió que los residuos agrícolas puedan adquirir una mejor capacidad de adsorción. Después de haberse realizado el tratamiento térmico 700 °C a 900 °C, se pudo evidenciar que se dio un aumento en su porosidad y su área superficial. Del siguiente trabajo se pudo concluir que un aumento de la capacidad de adsorción de los residuos agrícolas se debe principalmente al área superficial que presenta y su característica micro porosa.

James y Yadav (2021) realizó estudios sobre las distintas características que presentaban estos residuos y de igual forma pueda darles un valor económico por el exceso de residuos que generan durante su producción, entre ellos se encuentra la: palma de coco, cáscara de coco y fibra de coco. Estos residuos posteriormente fueron utilizados para el tratamiento de aguas residuales generadas.

Tokay y Akpınar (2021) realizaron estudios respecto a la capacidad de adsorción con distintos residuos, entre ellos: cáscara de arroz, cáscara coco y semillas de moringa; en las mismas condiciones para poder ver la capacidad que tenía cada uno para la adsorción de metales. En la metodología utilizada, tuvieron en cuenta 3 parámetros

principales para la evaluación, siendo estos: proporción de cáscara de coco y efluente, pH y el tiempo de adsorción; mostrando así que los parámetros más influyentes fueron la dosis del adsorbente y el tiempo de adsorción. Se pudo concluir que la eliminación de los metales se dio hasta en un 99%, utilizando 40g/l de biosorbente, con un pH de 6, lo cual no permitió formarse ninguna precipitación. Las mayores capacidades de adsorción fueron para el cobre 23.3, zinc 42.3 y para el níquel 16.1 mg/g obtenidas al usar semillas de moringa, seguidas de cáscara de arroz y cáscara de coco.

Shreya et al. (2021) realizó estudios respecto a la capacidad que presentaban materiales de bajo costo como adsorbentes para la eliminación de tensoactivos de aguas grises, utilizando así materiales como: carbón granular, dolochar, cáscara de arroz, cáscara de coco y zeolitas. La metodología se basó principalmente en ver de qué manera influenciaba el pH en los procesos de adsorción, teniendo en cuenta los distintos materiales. Los resultados del presente estudio mostraron que la capacidad de adsorción estaba influenciada por el rango de pH de 6.2 a 9.4.

Alshamri et al. (2021) realizaron estudios con desechos de cáscara de coco, modificados por un proceso térmico para la eliminación de tintes en la industria textil a una temperatura de 60°C, para luego utilizar ácido sulfúrico como ácido activador (el ácido tiene la función principal de activar la estructura porosa y permitir que este pueda cumplir la función de adsorción). Sin embargo, los parámetros que más influyeron fueron: tiempo de adsorción, dosis de adsorbente, pH y la temperatura de la solución. Los resultados indicaron que el porcentaje de eliminación de colorantes depende principalmente de los parámetros de la dosis del adsorbente y la temperatura de la solución tomada.

Verma et al. (2021) realizaron estudios con la cáscara de coco, ya que es un material cuyo valor económico es mínimo, y permite utilizarlo como un material poroso para la eliminación del cromo en soluciones acuosas, ya que presenta características micro porosas y esta lo hace muy eficiente. Los resultados que se obtuvieron indicaron que la característica porosa que presenta la cáscara de coco es el principalmente la estructura micro porosa.

Bobadilla & Leon (2022) emplearon un biofiltro para demostrar que el carbón activado de cáscara de coco adsorbe plomo (Pb) del río Moche, para comprobarlo se dosificó 25 y 50 g/L de carbón activado producido de una activación térmica de 500 °C a una hora, el contacto en el biofiltro duró una hora por dosis, los resultados mostraron que al tratar con 25 y 50 g disminuyó la concentración de plomo un 52 y 92 % respectivamente.

Sultana et al. (2022) realizaron estudios con carbón de cáscara de coco, con el objetivo de que este pueda actuar como adsorbente, ya que presenta características micro porosas, que lo hacen eficiente para procesos de adsorción. Los experimentos se realizaron en modo discontinuo, por lo cual se estudiaron varios parámetros operativos, entre ellos, la dosis del adsorbente, pH de la solución y el tiempo. Se concluyó que la cáscara de coco podría ser un adsorbente potencial, ya que presenta características porosas que lo hacen eficiente.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La variación de la masa del carbón activado de coco obtenido mediante pirólisis superará una eficiencia mayor al 60 % en la adsorción de aceites y grasas de una muestra sintética.

1.5.2 Hipótesis específica

- El incremento de la masa de carbón activado de cáscara de coco incrementará la eficiencia de adsorción de aceites y grasas de una muestra sintética
- El incremento del porcentaje en volumen de aceites y grasas de la muestra sintética incrementará la eficiencia de adsorción del carbón activado de coco obtenido mediante pirólisis.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Agua residual doméstica*

Las aguas residuales domésticas provienen de áreas residenciales, establecimientos comerciales, lugares públicos y similares, siendo las zonas residenciales y los centros comerciales las principales fuentes generadoras de este tipo de aguas (Metcalf&Eddy, 1996).

2.1.2 *Aceites y grasas*

Estos compuestos, de naturaleza vegetal o animal, generalmente consisten en mezclas de glicerina con ácidos grasos, que son comúnmente referidos como triglicéridos. En general, se utiliza el término "grasa" para referirse a aquellos materiales que son sólidos a temperatura ambiente, mientras que el término "aceite" se emplea para describir aquellos que son líquidos en las mismas condiciones (Baley, 1984).

Los compuestos lipídicos encontrados en el agua residual son sustancias compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno, que se mantienen en suspensión en el agua y pueden generar complicaciones en términos de mantenimiento, así como obstáculos en su proceso de descomposición natural. Los lípidos procedentes de fuentes vegetales y animales suelen ser susceptibles a la biodegradación y pueden ser procesados en instalaciones de tratamiento biológico. Sin embargo, en casos donde se encuentran elevadas concentraciones de grasas emulsionadas procedentes de ciertas industrias (Romero, 2004).

2.1.3 *Lípidos*

Los lípidos son moléculas orgánicas, también conocidas como biomoléculas, que se encuentran en los tejidos de animales y plantas. Estos pueden ser separados o aislados con el uso de algunos solventes de polaridad baja, como el tetracloruro de carbono (CCl_4), el cloroformo (CHCl_3), el éter de petróleo o bencina, benceno, entre otros (Baley, 1984).

2.1.4 Biomasa y Residuos Lignocelulósicos

La biomasa se refiere a la materia orgánica renovable que se produce a través de procesos biológicos, ya sean espontáneos o provocados, y que puede ser utilizada como fuente de energía, pero su importancia disminuyó con la llegada de los combustibles fósiles. En la actualidad, la biomasa se utiliza principalmente con fines energéticos y térmicos, pero a menudo se desecha sin ser aprovechada adecuadamente como residuo. Por lo tanto, resulta crucial analizar este material como materia prima para la creación de nuevos productos (Martínez de Yuso, 2012).

Los residuos biomásicos pueden ser generados por actividades industriales, agrícolas y urbanas. Los residuos lignocelulósicos son residuos biomásicos secos el cual está compuesto por tres polímeros como la celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales interactúan de manera compleja y varían según el tipo de residuo lignocelulósico en cuestión. Los residuos provenientes principalmente de la agricultura y se utilizan ampliamente en la producción de carbones activados (Martínez de Yuso, 2012).

La lignina puede considerarse un potencial precursor en la fabricación de carbón activado, ya que, debido a su elevada concentración de carbono y su estructura molecular análoga al carbón bituminoso, podría fungir como una opción altamente adecuada (Chávez-Sifones & Domínguez, 2013).

2.1.5 Biochar (Biocarbón)

Se trata de un producto en estado sólido obtenido mediante el proceso de pirólisis de biomasa, comúnmente derivada de carbón vegetal producido a partir de materias primas de origen leñoso. Este material tiene una gama de aplicaciones, tales como la producción de calor y electricidad, la depuración de gases de combustión, su utilización en aplicaciones metalúrgicas, en la agricultura y ganadería, como material de construcción y con fines médicos. En los últimos años, debido al esfuerzo por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el biocarbón ha ido ganando popularidad como una alternativa a los portadores de carbono fósil en diversas de estas aplicaciones (Weber & Quicker, 2018).

El biocarbón es un material de carbono sólido y poroso obtenido con la conversión termoquímica de materiales orgánicos en un entorno sin oxígeno. Este material presenta características fisicoquímicas que lo hacen idóneo para el almacenamiento seguro y de larga duración del carbono en el entorno natural. (Shackley et al., 2012).

También se considera que es un aditivo para el suelo con propiedades que favorecen la retención de carbono en el suelo. Esta capacidad de retención de carbono ayuda a reducir las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) y otros riesgos ambientales a corto plazo, lo que lo convierte en un componente clave para la mitigación del cambio climático. Además de su papel en la mitigación del cambio climático, este aditivo se utiliza para mejorar la calidad del suelo, reducir la contaminación por nutrientes y metales pesados, así como para minimizar los desechos de biomasa y la generación de energía (Stavi, 2013).

El biocarbón es un subproducto que se genera en diversos procesos, como el calentamiento de materia orgánica, junto con la producción de bioaceite y gas de síntesis. Dentro de estos tres productos, el biocarbón debe recibir mayor atención y prioridad, ya que su producción requiere menos energía y tiene un menor valor económico (El-Naggar et al., 2019).

2.1.6 Coco

El coco es una fruta en forma de drupa que está compuesta por diferentes partes. En su interior, se encuentra el albumen, que es la parte que alberga el agua. El albumen está rodeado por el endocarpo, que a su vez está cubierto por el mesocarpo y la epidermis. El coco tiene un tamaño que oscila entre los 20 y 30 cm, y su peso puede llegar a ser de hasta 2.5 kg (Lizano, 2005).

Según las gerencias y direcciones regionales de agricultura (SIEA) en el año 2021, Perú generó una producción de 38,371 toneladas de coco. A pesar de que la producción de coco en Perú no se compara con la de los países asiáticos líderes en este cultivo, nuestro país cultiva y cosecha coco en diversas regiones. Las áreas con mayor cultivo se encuentran en Ucayali (12 056 t), Loreto (9 643 t), San Martín (8 366 t) y Piura (3 934 t).

Esto se debe a las condiciones de alta humedad que prevalecen en las regiones costeras y selváticas de Perú a lo largo de todo el año (Anuario de Producción agrícola, 2021).

El cocotero desempeña un papel crucial en la vida de muchos habitantes rurales, ya que les proporciona alimentos, bebidas, combustible y refugio. Aunque su uso más común es la producción de copra, que consiste en secar la carne del coco para obtener aceite de alta calidad utilizado en las industrias alimentarias y cosméticas. Además, los residuos restantes se utilizan como alimento para el ganado. La cáscara dura o endocarpio del coco también tiene un alto valor calorífico (7500-7600 cal/g) y se utiliza como combustible. Además, se emplea como materia prima en la producción de carbón activado (Luna et al., 2007).

2.1.7 Carbón activado (C.A.)

Material poroso que se deriva del carbón mediante un proceso en el cual el material sometido a reacciones fisicoquímicas reacciona con gases oxidantes, tales como el dióxido de carbono (CO_2), aire o vapor de agua (H_2O). También se puede obtener tras un tratamiento químico con ácido y carbonización, esto con el objetivo de aumentar su porosidad. Mediante el control cuidadoso de los procesos de carbonización y activación, es posible obtener una amplia variedad de carbones activados con diferentes distribuciones de tamaño de poros, estos poros le dan una capacidad de adsorción alta (Menéndez, 2008).

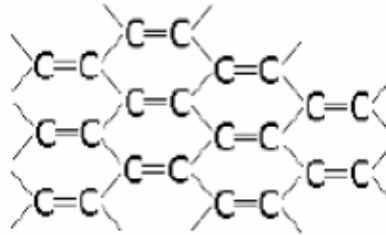
El C.A. es microcristalino y no grafitico que se produce mediante el proceso de carbonización de materia orgánica. Esta materia orgánica puede ser de origen vegetal o mineral. Para aumentar su porosidad y desarrollar su superficie interna, el carbón activado se somete a un proceso de activación utilizando gases oxidantes o la adición de productos químicos. Este proceso de activación tiene como objetivo ampliar los poros del carbón activado, lo que le confiere una alta capacidad de adsorción (Martinez de Yuso, 2012).

Además, está compuesto por estructuras en planos hexagonales en dos dimensiones desplazados y solapados entre sí, como se ilustra en la Figura 1. Esta configuración da lugar a una estructura altamente desordenada, lo que los distingue como

"carbones no grafiticos". La porosidad del carbón activado se debe a su estructura compuesta por capas irregulares de carbono con espacios generados por los pliegues de estas capas. Esta estructura, que se muestra en la Figura 2, es responsable de la porosidad del material (Martínez de Yuso, 2012).

Figura 1

Estructura del carbón



Fuente: Martínez de Yuso (2012)

Figura 2

Representación esquemática de la estructura del carbón activado



Fuente: Martínez de Yuso (2012).

Debido a su capacidad para adsorber materia orgánica, los carbones activados se han convertido en los adsorbentes más ampliamente utilizados en diversas industrias. Son altamente valiosos en sectores como la industria alimentaria, minería, industria farmacéutica, tratamiento de aguas residuales, purificación de agua para uso doméstico e industrial, control de lixiviados, remediación de suelos, recuperación de solventes, control de emisiones, purificación de aire en entornos habitados como habitaciones y restaurantes, eliminación de olores y decoloración de líquidos, y como soportes catalíticos, entre otros procesos (Contreras et al., 2008; Luna et al., 2007; Manocha, 2003; Rodríguez, 2007).

Se prevé que la demanda de carbones porosos aumente gradualmente debido a la implementación de regulaciones ambientales más estrictas y al desarrollo de nuevas aplicaciones en el control de contaminantes (Sricharoenchaikul et al., 2012).

En la actualidad, existe una necesidad de diseñar métodos de producción más económicos para el carbón activado. Se están investigando diversas fuentes de cenizas ricas en carbono, que son de bajo costo y fáciles de obtener, como precursores para la producción de carbón activado (Viswanathan et al., 2009).

Es importante destacar que el carbón activado tiene una amplia gama de aplicaciones como se muestran en la Tabla 1 debido a su capacidad adsorbente y versatilidad en distintos procesos industriales y ambientales.

Tabla 1

Principales aplicaciones del carbón activado

Industria	Uso típico
Descontaminación de suelos	Eliminación de compuestos orgánicos y metales pesados del suelo para remediación de áreas contaminadas.
Potabilización de agua	Eliminación de contaminantes orgánicos disueltos y control de problemas del olor
Industria farmacéutica	Purificación de productos farmacéuticos, eliminación de impurezas y compuestos no deseados.
Embotellamiento de líquidos	Eliminación del cloro y adsorción de contaminantes orgánicos disueltos.
Fermentación de cebada y trigo	Remoción de trihalometanos (THM)
Lixiviación del oro	Uso del carbón activado como adsorbente para recuperar el oro disuelto en cianuro de sodio.
Hidrocarburos y extracción petrolera	Remoción de contaminantes como aceite y hidrocarburos del condensado del vapor.
Afloramiento de agua y aprovechamiento subterráneo	Reducción de THM y halógenos orgánicos adsorbibles (AOX) en el agua subterránea contaminada.
Desechos de Agua Industrial	Reducción de THM, de la DBO y DQO producido en efluentes industriales.
Piscinas	Eliminación de contaminantes orgánicos mediante la inyección de ozono y control de niveles de cloro en el agua de las piscinas.
Tratamiento de gases y aire	Purificación de aire y gases, eliminación de compuestos orgánicos volátiles y contaminantes atmosféricos
Protección respiratoria	Uso en máscaras de respiración y filtros de aire para proteger contra vapores y partículas tóxicas.

Industria	Uso típico
Filtración de productos alimenticios	Descoloración y purificación de aceites, grasas, azúcares, jugos y bebidas en la industria alimentaria.
Eliminación de toxinas en envenenamientos	Adsorción de sustancias tóxicas en el tracto digestivo como antídoto en casos de intoxicaciones.
Almacenamiento de gases y captura de CO ₂	Almacenamiento de gases como hidrógeno y captura de CO ₂ en procesos de mitigación del cambio climático
Industria química	Uso como catalizador o soporte de catalizadores en reacciones químicas para aumentar la velocidad de reacción.

Fuente: Elaboración Propia.

2.1.8 Propiedades físicas y químicas del carbón activado

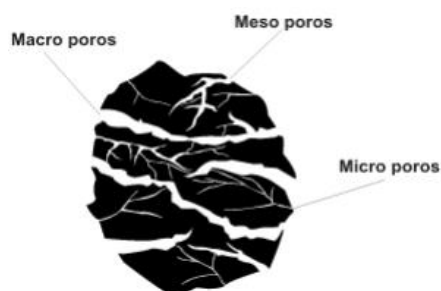
La característica principal es su gran capacidad de adsorción, gracias a su estructura interna altamente desarrollada y accesible a los procesos de adsorción. Estos materiales adsorbentes, los carbones activados, son altamente versátiles debido a que es posible controlar el tamaño y la distribución de los poros a través de la selección del precursor, el método de activación y el control de las condiciones de preparación (Burgos, 2015).

Según la clasificación de la IUPAC, los poros se dividen en tres grupos principales según su tamaño de diámetro de poros, mostrado en la Figura 3:

- Microporos: < 2 nm.
- Mesoporos: Rango 2 a 50 nm.
- Macroporos: > a 50 nm.

Figura 3

Gránulo de carbón activado



Fuente: Burgos (2015).

2.1.9 Adsorción

El proceso mediante el cual un fluido se acumula en la superficie de un sólido o líquido se conoce como adsorción. El fluido retenido en la superficie se denomina adsorbato, mientras que el elemento responsable de retenerlo se llama adsorbente. Los adsorbentes se caracterizan por tener una superficie específica alta y una afinidad química hacia el medio en el que se utilizan (Niño y Ramirez, 2008).

El proceso de adsorción por intercambio se basa en la atracción electrostática entre el soluto y el adsorbente; es decir, en la superficie del adsorbente se atraen los iones del soluto, que tiene una carga eléctrica opuesta a la de los iones del soluto. Si se comparan dos adsorbatos iónicos similares, pero con diferentes cargas, el de mayor carga será el preferentemente adsorbido. En el caso de adsorbatos con la misma carga, el tamaño molecular determina cuál será adsorbido (Simate et al., 2016).

La adsorción física es producida por fuerzas de Van der Waals, conocida como fisisorción, el adsorbato no se encuentra atraído a la superficie del adsorbente, lo que le permite moverse libremente en la interfaz. Un ejemplo común de este tipo de adsorción es la interacción de muchas sustancias orgánicas presentes en el agua con el carbón activado. En el caso de la fisisorción, el adsorbato conserva su naturaleza química original, lo que significa que no se producen cambios químicos significativos en la molécula adsorbida durante el proceso de adsorción (Simate et al., 2016).

Este tipo de adsorción física es ampliamente utilizado, tratamiento de aguas residuales y potabilización, donde el carbón activado es eficiente para eliminar contaminantes orgánicos, como compuestos orgánicos volátiles y compuestos orgánicos disueltos. La adsorción física juega un papel crucial en la purificación del agua y la remoción de contaminantes, ya que permite la captura selectiva de moléculas orgánicas sin alterar su estructura química.

La quimisorción, también llamada adsorción química, se produce cuando se establece una interacción química entre el adsorbato y el adsorbente. Durante la quimisorción, los átomos o moléculas del adsorbato pueden compartir electrones con los

átomos del adsorbente, lo que resulta en una modificación más profunda de las características químicas del adsorbato. Esta interacción es similar a un enlace químico, aunque no es tan fuerte como un enlace covalente típico. Durante este proceso, el adsorbato experimenta una transformación más o menos significativa en su estructura química (Simate et al., 2016).

2.1.10 Activación del carbón activado

La activación se puede lograr por medios físicos o por medios químicos. La activación física se divide en dos fases, ambas llevadas a cabo a temperaturas próximas a los 1000 °C (Gomella, et al, 1977). En la primera fase, se procede a la carbonización de la materia prima, lo cual da lugar a la formación de carbón vegetal. Posteriormente en la segunda fase, se lleva a cabo la activación del carbón mediante una corriente controlada de gas oxidante (Reinoso, 2005).

La activación física del carbón activado se realiza en dos etapas: la carbonización del precursor y la gasificación controlada del carbonizado. La primera etapa es un proceso en el cual la materia prima se convierte en carbón, eliminando el hidrógeno y el oxígeno del precursor, dando lugar a una estructura porosa básica. La activación implica exponer el material sólido a una atmósfera oxidante a temperaturas que oscilan entre los 800°C y 1000°C, lo que provoca un aumento en el volumen de poros y en la superficie específica al oxidar parte de las moléculas de carbono. Este proceso de activación lenta crea poros microscópicos en la superficie del carbón (Oña, 2017).

La activación química del carbón activado implica la impregnación del precursor, generalmente un material lignocelulósico, con ácido fosfórico (H_3PO_4) o el cloruro de zinc ($ZnCl_2$) que son usados comúnmente como un agente químico para luego calentarse en un horno o mufla hasta temperaturas de 500-700 °C. Los ácidos impregnados aportan en la reducción de la formación de alquitranes y materiales volátiles, lo que aumenta el rendimiento del producto. El carbón resultante se somete a un lavado profundo para eliminar los residuos del agente químico utilizado en la impregnación. También, los residuos lignocelulósicos pueden ser activados térmicamente mediante la gasificación

parcial con dióxido de carbono o vapor de agua para obtener carbones activados con áreas superficiales elevadas, que son utilizados en aplicaciones como el almacenamiento de gas natural (Oña, 2017).

2.1.11 Éter de Petróleo o bencina

El éter de petróleo, que también se conoce como bencina, nafta VM & P, nafta de petróleo, nafta ASTM o ligroína, es una mezcla líquida de compuestos volátiles diversos. Estos compuestos son inflamables y pertenecen a la serie de los hidrocarburos saturados o alcanos, en lugar de la serie de los éteres a pesar de su nombre incorrecto. El éter de petróleo se utiliza principalmente como solvente no polar (Restrepo, 2008).

El éter de petróleo se obtiene como una fracción durante el proceso de destilación en las refinerías de petróleo. Esta fracción se encuentra entre la nafta ligera y el queroseno más pesado, su densidad relativa oscila en 0.6 y 0.8 g/cm³. Existen diferentes fracciones de destilación del éter de petróleo que están disponibles comercialmente, clasificadas según su temperatura de ebullición, la fracción de 60-80 °C se utiliza comúnmente como un sustituto del hexano como solvente de laboratorio (Gutierrez & Zapata, 2011).

2.1.12 Hexano

El hexano o n-hexano es un hidrocarburo alifático alcano que en su composición molecular cuenta con seis carbonos enlazados. Su forma química es C₆H₁₄ (Restrepo, 2008).

El hexano en estado líquido es incoloro y es altamente inflamable. Tiene baja polaridad por eso no es posible su disolución en agua, pero tiene afinidad en la mezcla con solventes orgánicos apolares como el alcohol, el éter y el benceno. Su baja polaridad puede ser medido con el momento dipolar resultando casi cero, así mismo cuenta con una fuerza de elución¹ muy baja ($\epsilon^0=0.01$) (Gutierrez & Zapata, 2011).

¹ Elución: f. Quím. Acción y efecto de eluir; Eluir: Extraer, mediante un líquido apropiado, una sustancia del medio sólido que la ha adsorbido.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 *Muestra sintética*

Es un conjunto de datos que se crea de manera artificial o simulada para imitar una población o conjunto de datos reales. La creación de una muestra sintética puede ser útil en diversas situaciones, como en estudios de investigación donde los datos reales no están fácilmente disponibles o cuando se requiere un conjunto de datos con ciertas características específicas para realizar pruebas o experimentos.

Una muestra sintética de concentración conocida puede emplearse para validar métodos de análisis, probar algoritmos o calibrar instrumentos en el laboratorio. Al simular una muestra con una concentración determinada, se puede evaluar cómo un método de análisis o un instrumento específico responde a esa concentración conocida. Esto ayuda a verificar la precisión y exactitud del método o instrumento en un escenario controlado.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Recolección de insumos para la elaboración de la muestra sintética

La recolección para la preparación de una muestra con un porcentaje de volumen conocido implica seguir una serie de pasos específicos para garantizar la correcta composición de la solución. En este caso, el soluto utilizado en el experimento es aceite, mientras que la solución se elaboró utilizando agua destilada.

Para obtener el volumen de aceite necesario, se llevó a cabo la recolección del aceite utilizado en un puesto de comida rápida durante un período de tres días. Una vez recolectado, se almacenó en galoneras de 1.5 L para su posterior uso en la preparación de la muestra.

En cuanto al agua utilizada en la solución, se obtuvo del proceso de destilación llevado a cabo en el Laboratorio de Investigación del Agua (LIA - UNI) de la Facultad de Ingeniería Ambiental.

3.2 Preparación del carbón activado de cáscara de coco

3.2.1 Adquisición, limpieza y triturado

El proceso de preparación de la materia prima se inició con la adquisición de cáscaras secas de coco en el mercado de Tingo María, ubicado en Huánuco, Perú. Las cáscaras recolectadas fueron sometidas a una limpieza con cepillo de cerdas duras para eliminar el polvo, la tierra y cualquier tipo de impurezas presentes en su superficie.

A continuación, se procedió a reducir el tamaño de las cáscaras utilizando métodos mecánicos. El objetivo era obtener trozos de cáscara de coco con un tamaño uniforme y homogéneo, lo cual facilitaba su posterior procesamiento.

Para lograr una reducción aún más precisa del diámetro de las partículas, se empleó un molino manual que trituró las cáscaras de coco de manera eficiente.

3.2.2 Homogenización de tamaño de partícula

Después de moler las cáscaras de coco, se llevó a cabo un proceso de tamizado manual utilizando tamices de 6.73 mm y posteriormente de 4.76 mm (malla 3 y 4) bajo la

norma ASTM E-11. Durante esta etapa de tamizado, se agitó de manera constante el material durante 60 segundos, con el objetivo de retener las partículas que tuvieran el diámetro promedio deseado. Esta fase de tamizado manual fue esencial para asegurar que las partículas resultantes fueran uniformes en tamaño.

Una vez finalizado el tamizado, se procedió a realizar la medición del peso de la cáscara de coco molida y seca. Esta medida precisa permitió determinar con exactitud la cantidad de cáscara disponible para su uso en los experimentos.

El proceso de tamizado y pesado descrito anteriormente permitió obtener un producto homogéneo y controlar la cantidad de cáscara de coco empleada en cada experimento.

3.2.3 Impregnación química de los residuos celulósicos de coco

En el proceso de activación, se utilizó ácido fosfórico (H_3PO_4) con una concentración del 35% para lograr la activación deseada de la cáscara de coco molida. Esta etapa es fundamental, ya que la activación del carbón de coco es necesaria para mejorar su capacidad de adsorción.

Para llevar a cabo la activación, se procedió a colocar 500 g de cáscara de coco triturada en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. A continuación, se añadió el ácido fosfórico en un volumen constante de 100 mL a la mezcla. La elección de un matraz Erlenmeyer se debe a su forma cónica, que facilita la agitación y minimiza la pérdida de líquido durante el proceso.

Una vez que se añadió el ácido activador, se procedió a agitar la mezcla de manera uniforme utilizando una varilla. La agitación es crucial, ya que permite que el ácido penetre y se adsorba eficientemente en la estructura porosa de la cáscara de coco. Además, garantiza un contacto adecuado entre las partículas de coco y el ácido, promoviendo una activación homogénea en todo el material.

Después de la agitación, la mezcla se dejó reposar durante 48 horas para permitir que el ácido actúe y realice el proceso de activación. Este tiempo de reposo prolongado es

necesario para que el ácido pueda interactuar de manera efectiva con el material de coco y lograr una activación óptima.

3.2.4 Activación pirolítica de los residuos celulósicos de coco

Los residuos de coco, que habían sido previamente activados con ácido fosfórico para su activación, fueron sometidos a un proceso de carbonización mediante pirólisis en una mufla a una temperatura de 500°C durante una hora. El tiempo de carbonización se contabilizó desde el momento en que se alcanzó la temperatura de pirólisis, considerando que la velocidad promedio de calentamiento de la mufla era de 8.68°C por minuto.

Para esto, se agregaron 250 g de cáscara de coco activada químicamente en cápsulas de 300 g y se ingresaron a la mufla para el proceso de pirólisis. Durante la pirólisis, los residuos de coco experimentaron una descomposición térmica controlada, lo que condujo a la formación de carbón activado. La temperatura de 500°C se seleccionó debido a su capacidad para generar la estructura porosa y el área superficial alta deseada en el carbón activado.

Para garantizar el proceso pirolítico, se conectó la mufla a través de un orificio que contaba en su parte posterior con una manguera a una línea de vacío que extraía el aire de manera periódica.

La toma del inicio del tiempo o duración de la carbonización se determinó a partir del momento en que la temperatura de pirólisis se estabilizó en 500°C en la mufla.

Una vez finalizado el período de activación, fue necesario esperar a que la temperatura descendiera por debajo de los 150°C para evitar posibles fracturas y garantizar la integridad del empaque y evitar cualquier alteración no deseada en las muestras carbonizadas.

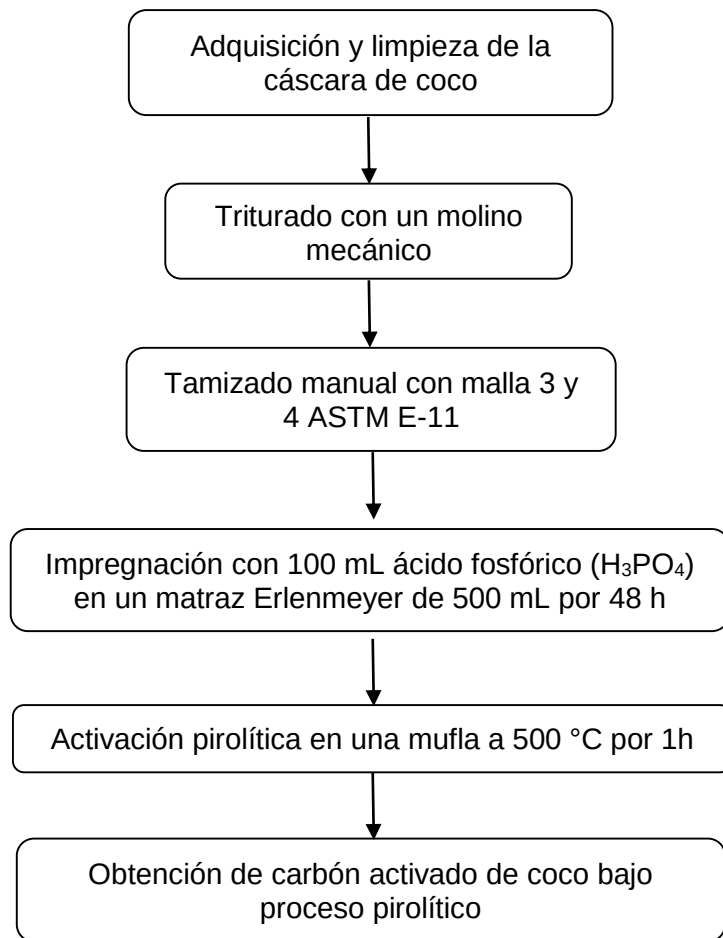
Para retirar las cápsulas de la mufla se usaron guantes de calor y pinzas de manera cuidadosa, asegurando no dejar caer el carbón activado de coco a una bandeja metálica. Una vez que la temperatura había disminuido lo suficiente, las muestras carbonizadas se transfirieron a desecadores, donde se mantuvieron durante aproximadamente 20 minutos.

Este tiempo de espera permitió que las muestras alcanzaran temperaturas manejables para su posterior manipulación.

Finalmente, las muestras carbonizadas se pesaron cuidadosamente utilizando una balanza analítica.

Figura 4

Diagrama de preparación de carbón activado



Fuente: Elaboración Propia.

3.3 Determinación de la capacidad de adsorción de aceites y grasas del carbón activado producido pirolíticamente

Para la valoración de la capacidad de adsorción de aceites y grasas del carbón activado de coco y para obtener resultados precisos y confiables en la capacidad de remoción del colorante azul de metileno, se adaptó el procedimiento experimental. Estas adaptaciones se basaron en las particularidades de nuestro estudio y las condiciones específicas de prueba.

3.3.1 Preparación de la muestra sintética

En primer lugar, se extrajo el volumen necesario de aceite de la galonera y se vertió en un vaso precipitado de 50 mL. De la misma manera, se obtuvo la cantidad requerida de agua destilada del destilador según las necesidades del experimento. Ambos volúmenes se combinaron cuidadosamente vertiéndolos en un matraz Erlenmeyer de 500 mL para su posterior agitación.

Se preparó una muestra sintética con valores de porcentaje en volumen conocidos de 5, 10, 25 y 30%. Para esto, en matraces Erlenmeyer de 500 mL se vertieron los siguientes volúmenes de agua y aceite:

Tabla 2

Volúmenes de insumos para la muestra sintética

Porcentaje en volumen (%V)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua(mL)
5	5	95
10	10	90
15	15	85
25	25	75

Fuente: Elaboración Propia.

El porcentaje en volumen fue una medida que se utilizaba para expresar la proporción de un componente en relación con el volumen total de una mezcla o solución. Se calculaba matemáticamente dividiendo el volumen del componente específico entre el volumen total de la mezcla y multiplicándolo por 100.

Este cálculo se basaba en la premisa de que el volumen de un componente en una mezcla era proporcional a su cantidad relativa. Es decir, si se conocía el volumen de un componente y el volumen total de la mezcla, era posible determinar su contribución porcentual al volumen total con la expresión (1).

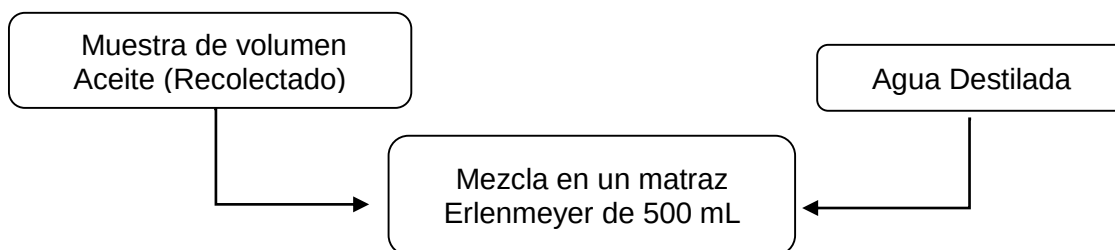
$$\%V = \frac{V_{\text{solute}}}{V_{\text{solución}}} 100\% \quad \dots (1)$$

Donde:

- V_{solute} : Volumen del soluto.
- $V_{\text{solución}}$: Volumen de la solución.

Figura 5

Diagrama de preparación de la muestra sintética



Fuente: Elaboración Propia.

3.3.2 Pesado de carbón activado de coco

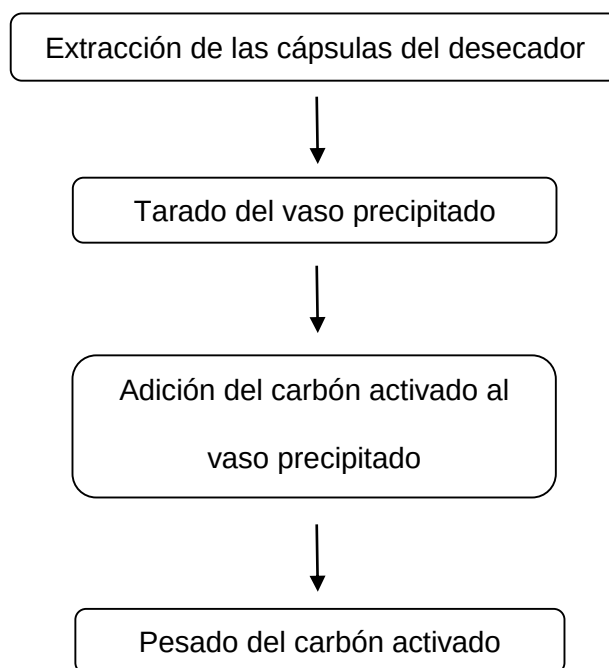
Con el propósito de obtener las masas específicas de 5, 10, 15 y 20 g requeridas para nuestro experimento, se procedió a extraer las cápsulas que contenían el carbón activado derivado de residuos celulósicos de cáscara de coco del desecador, ya que así se garantizaba la adsorción de humedad del ambiente.

A continuación, se utilizaba un vaso precipitado previamente tarado en una balanza analítica. La tara del vaso precipitado consistía en medir y registrar su masa cuando estaba vacío, lo cual permitía obtener mediciones precisas de la masa del carbón activado que se agregaría.

Con la ayuda de una espátula, se agregaba cuidadosamente la masa deseada de carbón activado al vaso precipitado tarado. Este procedimiento para asegurar que se añadiera la cantidad exacta de carbón requerida para cada masa específica. Durante el proceso, se realizaba un manejo cuidadoso de la espátula y se evitaba cualquier derrame o pérdida del material durante la transferencia al vaso precipitado.

Figura 6

Diagrama del pesado del carbón activado



Fuente: Elaboración Propia.

3.3.3 Proceso de agitación magnética para adsorción

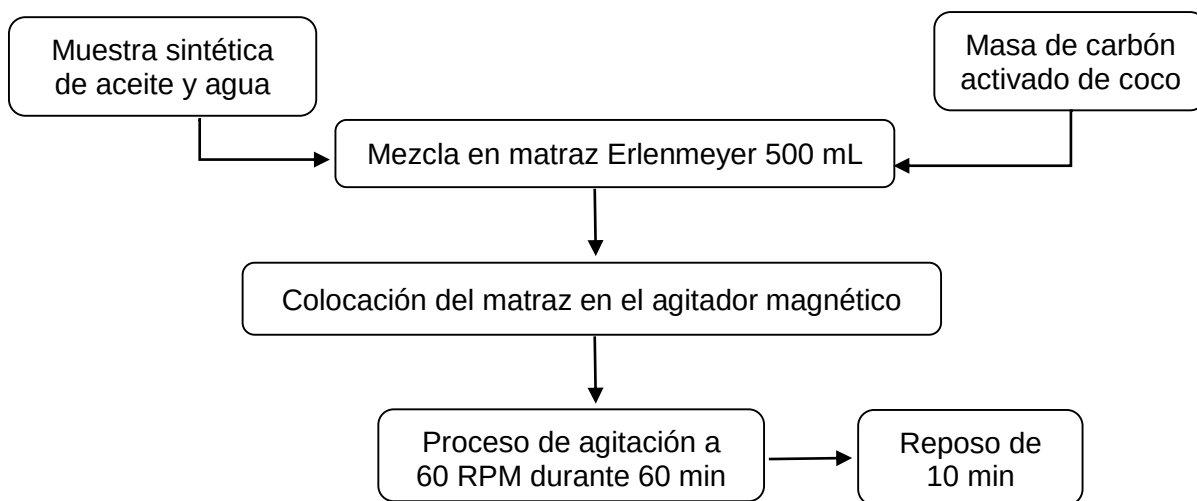
En el matraz Erlenmeyer que contenía una solución de agua y aceite con un porcentaje en volumen conocido (muestra sintética), se procedió a agregar la masa deseada de carbón activado para realizar la prueba. Una vez añadida la cantidad adecuada de carbón activado, el matraz se colocó sobre la base del agitador magnético.

Durante un periodo de 60 minutos, se llevó a cabo la agitación magnética, permitiendo que el carbón activado, el aceite y el agua entraran en contacto. La velocidad de agitación se estableció en 60 RPM (revoluciones por minuto) para lograr la adsorción deseada.

La agitación magnética se realizó de manera continua y constante durante el tiempo establecido, asegurando que los componentes de la solución se mezclaran de manera efectiva. El movimiento generado por el agitador magnético favoreció la interacción entre el carbón activado, el aceite y el agua, facilitando el proceso de adsorción.

Figura 7

Diagrama de agitación magnética para adsorción



Fuente: Elaboración Propia.

3.3.4 Proceso de filtrado

Se acondicionó sobre una probeta de 100 mL un embudo con un papel filtro N°40, el cual permitía retener las partículas de carbón de coco con aceite adherido para así poder medir el volumen de agua recuperada.

Para llevar a cabo la filtración, se utilizó una probeta de 100 mL como recipiente principal. Sobre esta probeta, se colocó un embudo equipado con un papel filtro de grado N°40. El papel filtro fue especialmente seleccionado por su capacidad de retener las partículas de carbón de coco que contenían aceite adherido.

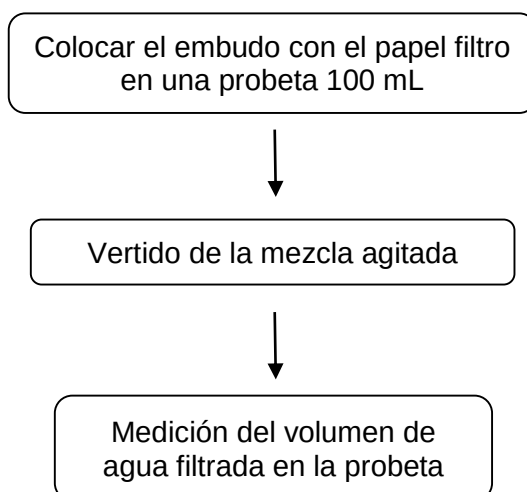
El objetivo de esta configuración era facilitar la separación de las partículas de carbón de coco y el aceite del agua, permitiendo así medir con precisión el volumen de agua recuperada. El papel filtro actuó como una barrera física que retuvo las partículas más grandes de carbón y evitó que se mezclaran con el agua.

Una vez que se montó el embudo con el papel filtro en la probeta, se procedió a verter la mezcla de carbón de coco y aceite en el embudo. A medida que la mezcla atravesaba el papel filtro, las partículas de carbón de coco con aceite quedaron atrapadas en el papel, mientras que el agua libre de partículas se filtró y se acumuló en la probeta.

Después de la filtración, se pudo medir el volumen de agua recuperada, ya que las partículas de carbón de coco y el aceite no interfirieron con la medición. Esta información se utilizó para determinar la cantidad de agua que había sido separada del carbón de coco con aceite.

Figura 8

Diagrama del proceso de filtrado



Fuente: Elaboración Propia.

3.3.5 Medición del volumen recuperado

El agua filtrada, que se encontraba libre de partículas, se había acumulado en la probeta. Se llevó a cabo una inspección visual para determinar el volumen de agua recuperada. Esto se logró observando el nivel del agua en la probeta y utilizando las marcas de graduación presentes en el recipiente.

Una vez que se midió el volumen de agua recuperada para cada una de las pruebas o experimentos realizados, esos datos se registraron en una tabla específica, donde se proporciona información sobre diferentes pruebas realizadas con distintas cantidades de carbón activado, volumen de aceite y volumen de agua. La tabla 3 muestra la estructuración que se usó para organizar y analizar los datos recopilados en la experimentación. A continuación, se presenta una explicación de los resultados mostrados:

- N° Prueba: Número de identificación asignado a cada prueba realizada.
- Masa de carbón (mL): Cantidad de carbón activado utilizado en cada prueba, expresada en mililitros (mL).
- Volumen de aceite (mL): Volumen de aceite utilizado en cada prueba, también expresado en mililitros (mL).
- Volumen de agua (mL): Volumen de agua utilizado en cada prueba, expresado en mililitros (mL).
- Porcentaje en volumen de aceite (%): Porcentaje en volumen de aceite presente en cada muestra.
- Volumen de agua recuperada (mL): Volumen de agua que se pudo recuperar después de cada prueba.
- Volumen de agua perdida (mL): Volumen de agua que se perdió durante cada prueba.

3.3.6 Interpretaciones, cuantificaciones y pruebas estadísticas

Para calcular el rendimiento de la adsorción del carbón de coco, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Ef(\%) = \frac{V_{rec}}{V_{agua} + V_{aceite}} \quad \dots (2)$$

Donde:

- Ef: Eficiencia de la adsorción (%),
- V_{rec} : Volumen de agua recuperada,
- V_{agua} : Volumen de agua de la muestra sintética,
- V_{aceite} : Volumen de aceite de la muestra sintética final

Estos valores indican el porcentaje de agua que se ha recuperado después de la adsorción del aceite por el carbón activado de coco. Cuanto mayor sea el rendimiento, mayor será la eficacia del carbón activado en la adsorción del aceite.

Otras pruebas estadísticas para demostrar las capacidades de adsorción del carbón activado de coco, se podrían utilizar diversas medidas estadísticas. A continuación, se presentan algunas opciones:

- Promedio: Calcular el promedio del volumen de agua recuperada en cada prueba para obtener una medida general de la capacidad de adsorción del carbón activado en diferentes condiciones.
- Desviación estándar: Calcular la desviación estándar del volumen de agua recuperada en cada prueba para evaluar la variabilidad de los resultados.
- Gráficos de dispersión: Representar gráficamente el volumen de agua recuperada versus el porcentaje de volumen de aceite.

3.4 Determinación de la concentración aceites y grasas mediante el método gravimétrico líquido- líquido.

En este método, se utiliza el solvente para extraer la grasa y el aceite presentes en el agua. Posteriormente, la determinación se realiza de manera gravimétrica al recuperar el solvente mediante un equipo de destilación.

En este ensayo no se cuantificó una cantidad absoluta de una sustancia específica. En cambio, se buscó identificar grupos de compuestos con similitudes moleculares o físicas, considerando la solubilidad del solvente. Por lo tanto, al determinar grasas y aceites, se incluyen todos los materiales solubles recuperados por el solvente, lo que abarca compuestos extraídos de la muestra acidificada, como aquellos con contenido de azufre, tintes orgánicos y clorofila.

3.4.1 Solventes para determinar la concentración de aceites y grasas

Se emplearon éter de petróleo (bencina) y hexano como solventes para determinar la concentración de aceites y grasas presentes en la muestra analizada. La elección por el uso bencina sobre otro solvente es debido a la fácil disponibilidad en el mercado. Además, se ha demostrado que según los estudios previos realizados por Gutiérrez y Zapata (2011), es posible remplazar el hexano por la bencina. Por lo tanto, en la presente investigación se utilizó la bencina, no obstante, se incluyeron algunos análisis con hexano (C_6H_6) a fin de garantizar la confiabilidad de los análisis.

Con el enfoque comparativo, se pudo corroborar la confiabilidad de la bencina como solvente en la determinación de la concentración de aceites y grasas. Los resultados obtenidos con ambos solventes fueron analizados y contrastados mediante una proporción matemática de correspondencia, lo que brindó una mayor robustez a los hallazgos del estudio.

3.4.2 Preparación de la muestra a analizar

La muestra que se empleó para la determinación había sido sometida a los mismos procedimientos descritos en las secciones 3.3.1, 3.3.2 y 3.3.3 previamente. Estos procedimientos, detallados en las secciones mencionadas, implicaban una serie de pasos y técnicas específicas para preparar y tratar la muestra de acuerdo con los requerimientos del experimento. Al someter la muestra a estos procedimientos, se buscaba garantizar que estuviera debidamente preparada y en condiciones óptimas para su utilización en la determinación posterior. Cada uno de los pasos y técnicas descritas en las secciones respectivas contribuían a asegurar la precisión, fiabilidad y coherencia de los resultados obtenidos en el estudio.

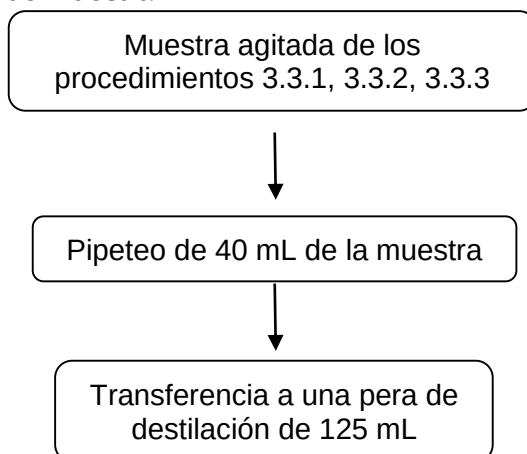
3.4.3 Extracción de la muestra a analizar

Para llevar a cabo la extracción, se utilizó una pipeta de 10 ml. La pipeta se empleó en combinación con una propipeta de goma, que actuó como un dispositivo de succión para aspirar el líquido de la muestra. Con la pipeta indicada se succionó el volumen deseado de líquido y se transfirió a una pera de destilación de 125 ml.

La pera de destilación se colocó sobre un soporte universal, a fin de recibir el líquido extraído. Además, se aseguró con un aro y una nuez para garantizar su estabilidad durante el proceso. Esta configuración aseguraba un manejo seguro y preciso de la muestra, evitando derrames o pérdidas innecesarias.

Figura 9

Diagrama de extracción de muestra



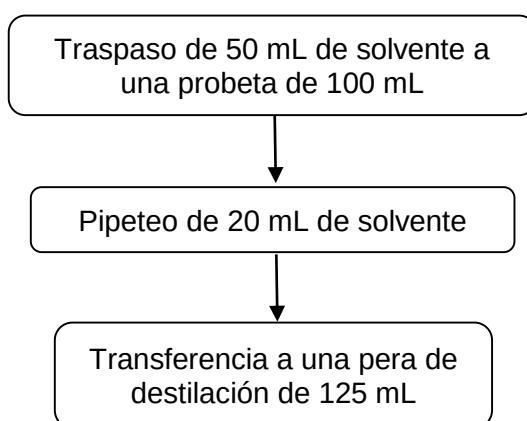
Fuente: Elaboración Propia.

3.4.4 Extracción del solvente

Para el proceso de extracción del solvente (bencina), se tomó un volumen de 50 ml del solvente y se transfirió a una probeta de 100 ml. Luego, se pipeteó 20 ml del solvente, asegurándose de no introducir burbujas de aire. Los 20 ml extraídos se vertieron en una pera de destilación. La pera, se utilizó para combinar la muestra agitada con el solvente, creando una solución homogénea y facilitando la extracción de los componentes deseados.

Figura 10

Diagrama de flujo de extracción de solvente



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.5 Agitación y destilación

Después de completar la etapa de extracción en la pera de decantación, se llevó a cabo una agitación vigorosa durante 5 minutos. Durante este proceso de agitación, fue esencial liberar la presión de manera constante, para ello se invertía el embudo y se abría la llave periódicamente. Esta medida aseguraba que se mantuviera una presión controlada y evitaba cualquier acumulación excesiva de presión en el sistema.

Luego de la agitación, se permitió que las fases se separaran dejando reposar la pera de decantación durante un período de 10 minutos. Al observar la pera de extracción, se podían distinguir claramente dos fases: una fase inferior y una fase superior. En este punto, se podía descartar la fase inferior, ya que no era relevante para el análisis.

La fase superior, que contenía los compuestos de interés, se vertió cuidadosamente en un matraz Erlenmeyer de 250 ml limpio y seco, cuyo peso inicial era conocido como P_i (peso inicial).

A continuación, el matraz Erlenmeyer se colocó en un Baño de María con una temperatura controlada que oscilaba entre 70 y 100 °C durante 1h o hasta que se evidenciara la evaporación de la parte líquida. Esta etapa tenía como objetivo evaporar el solvente y el agua presentes en el matraz. La temperatura controlada garantizaba un proceso de evaporación preciso y controlado, asegurando que se eliminara por completo el solvente y el agua sin afectar los componentes de interés.

Finalmente, en el matraz Erlenmeyer se debe observar una capa amarillenta adherida al fondo conformada por aceites y grasas. Para determinar el peso seco final del matraz, se realizó una medición precisa de su peso, que se denominó P_f (peso final). El incremento en el peso del matraz de extracción calibrado se debía principalmente a la presencia de grasas y aceites, constituyendo el contenido de dichas sustancias calculado con la siguiente ecuación (3):

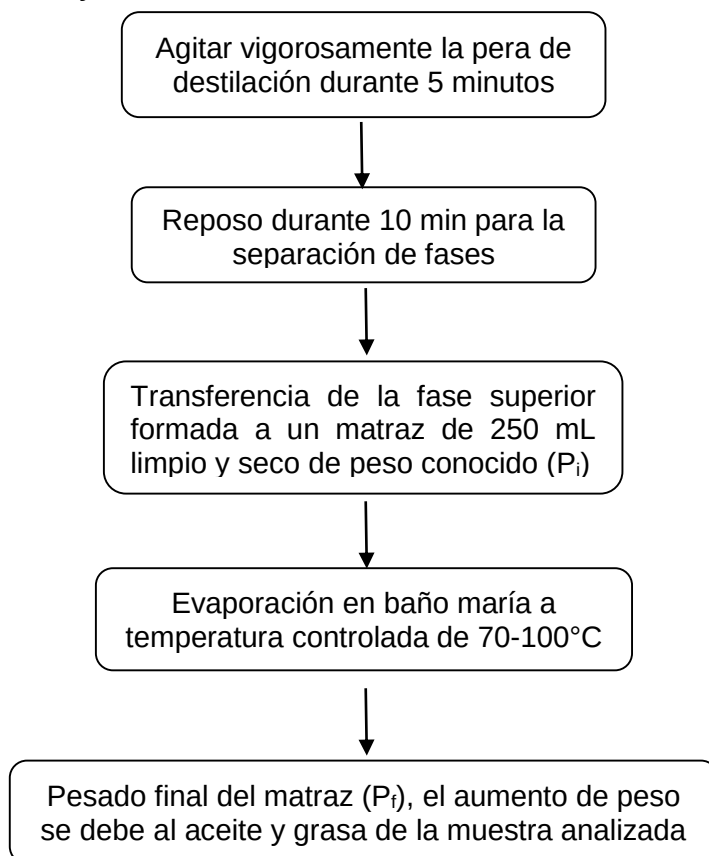
$$GYA \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(P_f - P_i)}{V} \quad \dots (3)$$

Dónde:

- GYA: Concentración de aceites y grasas (mg/L)
- P_f : peso final del matraz de extracción (mg)
- P_i : peso inicial del matraz de extracción (mg)
- V: Volumen de muestra (L)

Figura 11

Diagrama de agitación y destilación



Fuente: Elaboración Propia.

3.5 Determinación de la capacidad de adsorción de aceites y grasas del carbón activado comercial

El propósito fundamental de este procedimiento es evaluar la eficacia de adsorción de aceites y grasas. Para asegurar la validez de los resultados obtenidos con el carbón activado producido mediante pirolisis, se ha decidido compararlo con un carbón activado comercial estándar. Este enfoque permite determinar si el carbón activado obtenido por

pirolisis es adecuado para el análisis de adsorción de aceites y grasas en términos de su rendimiento y calidad en comparación con un estándar reconocido de la industria.

En el procedimiento 3.2 de la metodología, se elaboró el carbón activado mediante la pirolisis de cáscaras de coco. Luego, se adquiere un carbón activado comercial estándar, el cual servirá para la comparación. El carbón activado comercial se utiliza como punto de referencia o estándar para comparar la capacidad de adsorción del carbón activado producido por pirolisis.

3.5.1 Caracterización del carbón activado comercial

Para saber las características del carbón activado comercial, revisamos la ficha técnica del producto (Anexo A.3.).

El carbón comercial está compuesto por microporos (con diámetro menor a 2 nm), mesoporos (con diámetro entre 2 y 50 nm) y macroporos (con diámetro mayor a 50 nm), los cuales son capaces de retener macromoléculas, colorantes y coloides. Actúa como un adsorbente universal, siendo un complemento potente para la filtración al eliminar proteínas, colorantes, olores y otros contaminantes tanto en medios líquidos como gaseosos. Es especialmente efectivo en la eliminación de compuestos apolares y de alto peso molecular como hidrocarburos, fenoles, polipéptidos, entre otros.

3.5.2 Comparación de eficiencias de adsorción

Para poder comparar se reemplaza el carbón producido en pasos posteriores del proceso (a partir del paso 3.3.2) con el carbón activado comercial. Esto garantiza que los resultados obtenidos sean directamente comparables entre ambos tipos de carbón activado.

Luego de realizar las pruebas de adsorción con el método gravimétrico líquido – líquido siguiendo los pasos detallados en el inciso 3.4, se podrán analizar los resultados para determinar la eficiencia relativa de adsorción del carbón activado producido mediante pirolisis en comparación con el carbón activado comercial estándar. Este enfoque experimental permite validar y evaluar la calidad y rendimiento del carbón activado producido internamente en relación con un estándar de la industria.

3.6 Diseño de experimentos y planteamiento experimental

3.6.1 Determinación del número de experimentos

En esta investigación se utilizó el método factorial para cuantificar la cantidad de experimentos.

El procedimiento consistió en combinar los niveles de los factores para crear condiciones experimentales y luego se analizaban los resultados obtenidos (combinaciones), para evaluar la influencia de los factores y sus interacciones en la variable dependiente.

El número total de combinaciones posibles en un diseño factorial se obtuvo al multiplicar el número de niveles de cada factor, como se muestra en la fórmula:

$$\# \text{ Experiencias} = NF^{VI} \quad \dots (4)$$

Dónde:

- NF: Número de niveles de fluctuación
- VI: Número de variables independientes

En este estudio se identificó la presencia de dos variables independientes la masa de carbón activado y el porcentaje en volumen de aceites y grasas en la muestra sintética y se estableció un diseño experimental con cuatro niveles de fluctuación detalladas en la tabla 4, que abarcaban valores máximos y mínimos, y manipular dos variables independientes. Esto permitía generar un número adecuado de experiencias con el propósito de determinar el porcentaje de eficiencia en la adsorción de aceites y grasas.

Tabla 3

Variables para el diseño de experimento

Niveles de fluctuación	Variables Independientes		Variable dependiente
	X ₁ : Masa de carbón activado de coco (g)	X ₂ : Porcentaje en volumen de la muestra sintética (%V)	Y: Eficiencia de adsorción (%)
1 (mínimo)	5, p	5, P	Y _a
2	10, q	10, Q	Y _b
3	15, r	15, R	Y _x
4 (máximo)	20, s	25, S	Y _y

Fuente: Elaboración Propia.

Entonces para este caso usando la ecuación (4).

$$\# \text{Experiencias} = 4^2 = 16$$

Se eligieron masas de carbón activado de 5 y 10 gramos, con porcentajes en volumen bajos para crear combinaciones iniciales. A medida que avanzaba el estudio, se abordaron masas mayores de 15 y 20 gramos.

Este enfoque evolutivo permitió una exploración gradual de cómo la masa de carbón activado y los porcentajes en volumen interactúan en la adsorción de aceites y grasas. En la Tabla 4 de manera esquemática se plasma el orden y secuencia usado para la experimentación. Cabe resaltar que están incluidas las 16 experiencias que resulta de aplicar la fórmula de la ecuación 4.

Tabla 4

Corridas de pruebas y combinación de códigos estadísticos

Diseño de Experimentos	Combinación de códigos estadísticos		Variable Dependiente
Orden de prueba	X ₁ (g)	X ₂ (%V)	Y
1	p	P	Y ₁
2	p	Q	Y ₂
3	q	P	Y ₃
4	q	Q	Y ₄
5	p	P	Y ₅
6	p	Q	Y ₆
...	...	...	...
11	r	P	Y ₁₁
12	r	Q	Y ₁₂
13	s	P	Y ₁₃
14	s	Q	Y ₁₄
15	r	P	Y ₁₅
16	s	Q	Y ₁₆
17	r	P	Y ₁₇
...	...	...	
25	p	R	Y ₂₅
26	p	S	Y ₂₆
27	q	R	Y ₂₇
28	q	S	Y ₂₈
39	p	R	Y ₂₉
30	p	S	Y ₃₀

Diseño de Experimentos	Combinación de códigos estadísticos		Variable Dependiente
Orden de prueba	X ₁ (g)	X ₂ (%V)	Y
...	...	...	...
45	r	R	Y ₄₅
46	s	S	Y ₄₆
47	s	R	Y ₄₇
48	r	S	Y ₄₈
49	r	R	Y ₄₉
50	s	S	Y ₅₀
...	...	...	...
65	p	S	Y ₆₅
66	q	R	Y ₆₆
67	r	Q	Y ₆₇
68	s	P	Y ₆₈
...	...	...	...

Fuente: Elaboración Propia.

El diseño de experimentos establecido en la tabla 5 determinó que era necesario tomar un total de 16 combinaciones de muestras para llevar a cabo el estudio. Sin embargo, para garantizar una evaluación precisa de la interacción del carbón activado de cáscara de coco modificado pirolíticamente, se decidió realizar triplicados de muestras.

Una vez obtenidos los triplicados de muestras, se procedió a realizar el promedio de los resultados. Los resultados obtenidos a partir de las muestras repetidas y validadas proporcionaron una base sólida para comprender cómo esta modificación del carbón activado afecta su capacidad de adsorción.

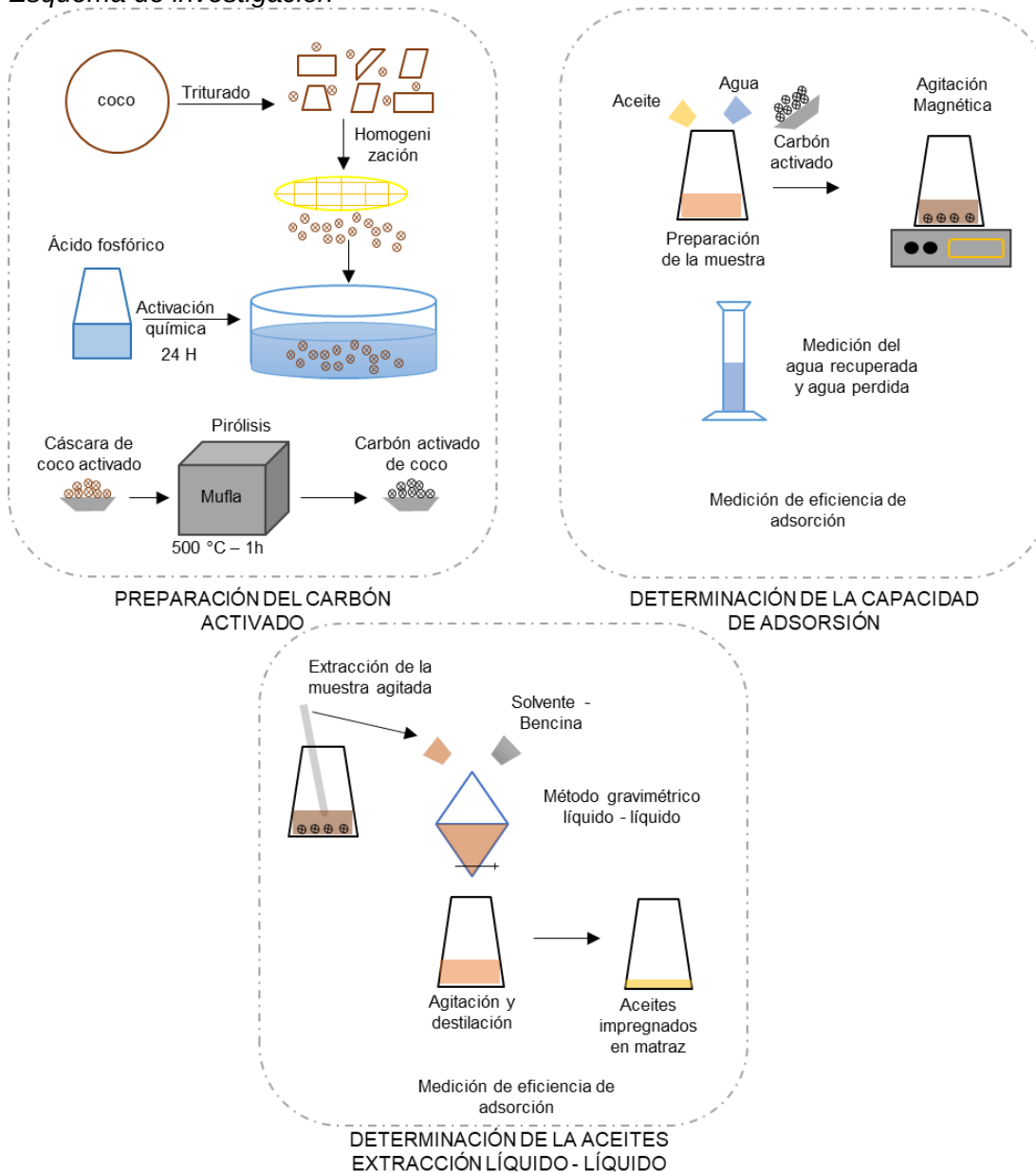
En el proceso de investigación, se reconoció la importancia de analizar datos de manera agrupada para evitar sesgos y obtener resultados más fiables. Esta metodología de análisis permitió una interpretación más profunda de los datos, lo que resulta fundamental para extraer conclusiones sólidas y precisas acerca del rendimiento del carbón activado en la eliminación de aceites y grasas.

3.6.2 Esquema de la investigación

A continuación, se muestra el esquema de experimento realizado:

Figura 12

Esquema de investigación



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.3 Periodo de la investigación

El proceso experimental se inició el 06 de abril del 2023 y se extendió hasta el 29 de junio del mismo año.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

En el presente capítulo, se expondrán los resultados experimentales obtenidos durante la investigación llevada a cabo en el Laboratorio de Investigación del Agua (LIA-UNI).

4.1 Resultados

A continuación, se exponen los resultados obtenidos durante la experimentación llevada a cabo en orden cronológico, representados en un cuadro que refleja el progreso y los hallazgos experimentales producto del proceso.

Tabla 5

Resultados experimentales

N° Prueba	Fecha	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
1	18-Abr	5	10	90	10%	85.5	4.5
2	18-Abr	10	10	90	10%	86	4.0
3	20-Abr	5	5	95	5%	89.5	5.5
4	20-Abr	10	5	95	5%	90	5.0
5	25-Abr	5	25	75	25%	68	7.0
6	25-Abr	10	25	75	25%	69	6.0
7	2-May	5	5	95	5%	92	3.0
8	2-May	10	5	95	5%	93	2.0
9	2-May	5	10	90	10%	84	6.0
10	2-May	10	10	90	10%	86.5	3.5
11	4-May	5	10	90	10%	82	8.0
12	4-May	10	10	90	10%	86	4.0
13	4-May	15	10	90	10%	86	4.0
14	4-May	20	10	90	10%	87	3.0
15	4-May	15	10	90	10%	87	3.0
16	4-May	20	10	90	10%	88	2.0
17	4-May	15	5	95	5%	93	2.0
18	4-May	20	5	95	5%	93.5	1.5
19	4-May	5	5	95	5%	92	3.0
20	4-May	10	5	95	5%	92.5	2.5
21	9-May	15	25	75	25%	70.5	4.5
22	9-May	20	25	75	25%	71.5	3.5
23	11-May	5	15	85	15%	81	4.0
24	11-May	10	15	85	15%	80.5	4.5
25	11-May	5	15	85	15%	80	5.0
26	11-May	10	15	85	15%	81	4.0
27	11-May	15	10	90	10%	89	1.0
28	11-May	20	10	90	10%	88	2.0
29	11-May	15	10	90	10%	88	2.0
30	11-May	20	10	90	10%	88.5	1.5
31	16-May	15	10	90	10%	88.5	1.5

N° Prueba	Fecha	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
32	16-May	20	10	90	10%	88	2.0
33	16-May	5	15	85	15%	80.5	4.5
34	16-May	10	15	85	15%	81	4.0
35	16-May	5	10	90	10%	85	5.0
36	16-May	10	10	90	10%	85.5	4.5
37	16-May	5	15	85	15%	80	5.0
38	18-May	10	15	85	15%	81	4.0
39	18-May	5	15	85	15%	80	5.0
40	18-May	10	15	85	15%	80	5.0
41	18-May	15	15	85	15%	81	4.0
42	18-May	20	15	85	15%	83	2.0
43	18-May	15	15	85	15%	81.5	3.5
44	21-May	20	15	85	15%	83	2.0
45	21-May	5	5	95	5%	91	4.0
46	21-May	10	5	95	5%	93	2.0
47	21-May	15	5	95	5%	93.5	1.5
48	21-May	20	5	95	5%	94.5	0.5
49	21-May	15	5	95	5%	93.5	1.5
50	21-May	20	5	95	5%	94.5	0.5
51	25-May	5	5	95	5%	91.5	3.5
52	25-May	10	5	95	5%	92	3.0
53	30-May	5	15	85	15%	79.5	5.5
54	30-May	10	15	85	15%	80.5	4.5
55	30-May	20	15	85	15%	83.5	1.5
56	1-Jun	5	10	90	10%	85.5	4.5
57	1-Jun	10	10	90	10%	85.5	4.5
58	1-Jun	15	10	90	10%	87	3.0
59	6-Jun	10	25	75	25%	70	5.0
60	6-Jun	15	25	75	25%	71	4.0
61	6-Jun	20	25	75	25%	72.5	2.5
62	13-Jun	5	25	75	25%	68.5	6.5
63	13-Jun	10	25	75	25%	69	6.0
64	13-Jun	15	25	75	25%	70	5.0
65	13-Jun	20	25	75	25%	72	3.0
66	15-Jun	15	25	75	25%	71	4.0
67	15-Jun	20	25	75	25%	72	3.0
68	15-Jun	15	15	85	15%	81.5	3.5
69	15-Jun	15	15	85	15%	81.5	3.5
70	27-Jun	15	5	95	5%	93	2.0
71	27-Jun	20	5	95	5%	93.5	1.5
72	27-Jun	5	25	75	25%	68	7.0

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 Discusión de resultados

Para la discusión de resultados se realizarán en cinco partes: en la primera se analizarán los resultados experimentales tomando en cuenta el porcentaje en volumen contenidos en la muestra sintética, en la segunda parte se analizarán los resultados tomando en cuenta las masas de carbón activado de coco usados en la agitación magnética.

La tercera parte, se analizan los experimentos donde se utilizaron la bencina y el hexano como solventes para analizar la concentración de aceites y grasas. El enfoque comparativo permitió confirmar la confiabilidad de la bencina como solvente principal. La última parte se analiza los resultados de las concentraciones iniciales y finales tras usar el método gravimétrico líquido – líquido para la medición de aceites y grasas.

Por último, se analizan los experimentos donde se utilizó un carbón activado comercial estándar y contrastarlo con los resultados para determinar la eficiencia relativa de adsorción del carbón activado producido mediante pirolisis en comparación con el carbón activado comercial estándar.

4.2.1 Adsorción de la grasa a porcentaje en volumen constante

Los resultados que se muestran en esta ocasión son obtenidos específicamente de la tabla 6, que forma parte de los datos recopilados durante la investigación. El objetivo primordial de esta tabla es organizar y agrupar los valores que fueron analizados con la misma concentración en volumen o porcentaje en volumen de aceite.

Al agrupar los valores con características similares de concentración de aceite, se facilita la comparación y la identificación de tendencias o patrones en la capacidad de adsorción del carbón activado a base de cáscara de coco. Esto permite una mejor comprensión de cómo varía la eficiencia de la adsorción según las diferentes concentraciones de aceite presentes en las aguas residuales analizadas.

4.2.1.1 Adsorción usando concentración en volumen de 5 %

En este caso, los datos que se presentan se obtuvieron a partir de un experimento que utilizó una muestra sintética con una concentración en volumen del 5% de aceite.

Tabla 6

Resultados experimentales con una concentración en volumen del 5 % de aceite

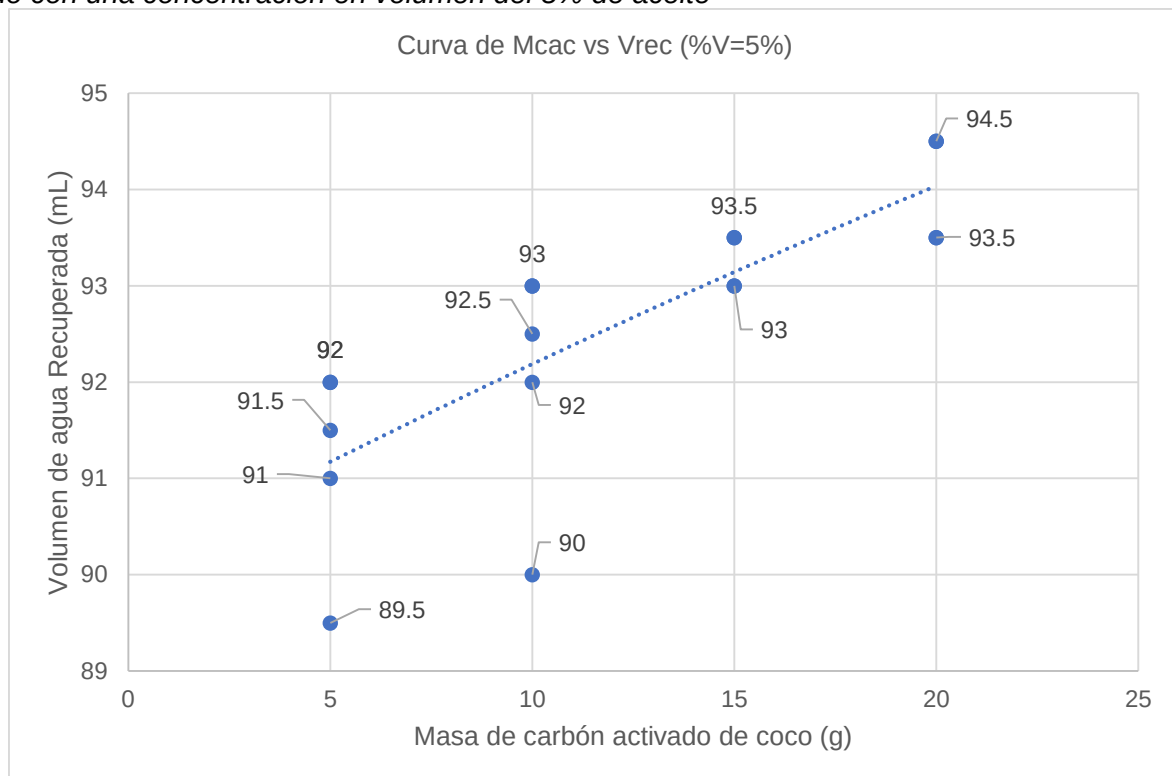
N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
3	5	5	95	5%	89.5	5.5
7	5	5	95	5%	92	3
19	5	5	95	5%	92	3
45	5	5	95	5%	91	4
51	5	5	95	5%	91.5	3.5
4	10	5	95	5%	90	5
8	10	5	95	5%	93	2
20	10	5	95	5%	92.5	2.5
46	10	5	95	5%	93	2
52	10	5	95	5%	92	3
17	15	5	95	5%	93	2
47	15	5	95	5%	93.5	1.5
49	15	5	95	5%	93.5	1.5
70	15	5	95	5%	93	2
18	20	5	95	5%	93.5	1.5
48	20	5	95	5%	94.5	0.5
50	20	5	95	5%	94.5	0.5
71	20	5	95	5%	93.5	1.5

Fuente: Elaboración Propia.

Al analizar los resultados mostrados en la tabla 6, que se encuentran graficados en la figura 13, es evidente que algunos de ellos se encuentran lejos de la curva. Esta discrepancia se debe a la falta de experiencia en la realización de los procedimientos de laboratorio durante las primeras pruebas, lo que ha dado lugar a resultados que se alejan significativamente del promedio y presentan una alta variabilidad.

Figura 13

Curva de resultados experimental Volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 5% de aceite



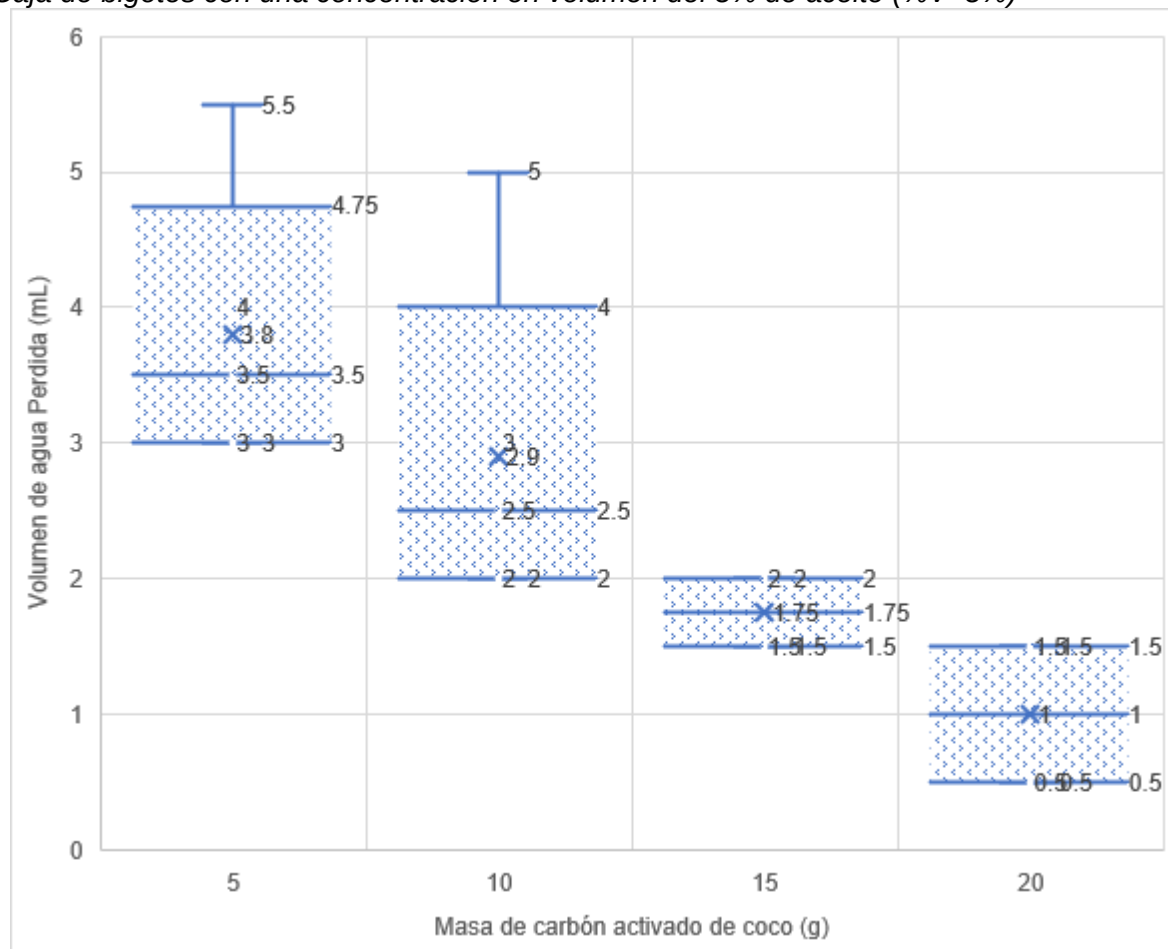
Fuente: Elaboración Propia.

Para eliminar los datos atípicos o valores alejados que se encuentran lejos de la curva, podemos utilizar técnicas estadísticas como el método de los valores atípicos o outliers. Los valores atípicos son observaciones que se desvían considerablemente del resto de los datos y pueden afectar negativamente el análisis y las conclusiones que se obtengan a partir de ellos.

Una forma común de identificar valores atípicos es mediante el cálculo del rango intercuartílico (IQR). El IQR se calcula como la diferencia entre el tercer cuartil (Q3) y el primer cuartil (Q1) de los datos. Los valores que se encuentran por debajo de $Q1 - 1.5 * IQR$ o por encima de $Q3 + 1.5 * IQR$ se consideran valores atípicos y pueden ser eliminados del conjunto de datos. Esto se visualiza de manera más explícita en un diagrama de caja y bigotes (boxplot) mostrado en la figura 14. En este tipo de gráfico, los valores atípicos se representan como puntos individuales fuera de los "bigotes" del boxplot, que representan el rango intercuartílico.

Figura 14

Caja de bigotes con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%)



Fuente: Elaboración Propia.

El análisis de los datos de la figura 13 demuestra que los datos resultados de la experiencia número 3 y 4 se pueden prescindir en concordancia del método estadístico de valores atípicos ya que exceden el valor 4.75 mL.

Al eliminar los datos atípicos, se puede obtener un conjunto de datos más limpio y representativo, lo que puede mejorar la precisión y la validez de los análisis estadísticos que se realicen. Sin embargo, es importante tener cuidado al eliminar valores atípicos, ya que en algunos casos pueden ser indicativos de errores o fenómenos interesantes que deben ser investigados más a fondo.

Haciendo el ajuste de la Tabla 7, con los resultados corregidos se obtiene lo siguiente

Tabla 7

Resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%)

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
7	5	5	95	5%	92	3
19	5	5	95	5%	92	3
45	5	5	95	5%	91	4
51	5	5	95	5%	91.5	3.5
8	10	5	95	5%	93	2
20	10	5	95	5%	92.5	2.5
46	10	5	95	5%	93	2
52	10	5	95	5%	92	3
17	15	5	95	5%	93	2
47	15	5	95	5%	93.5	1.5
49	15	5	95	5%	93.5	1.5
70	15	5	95	5%	93	2
18	20	5	95	5%	93.5	1.5
48	20	5	95	5%	94.5	0.5
50	20	5	95	5%	94.5	0.5
71	20	5	95	5%	93.5	1.5

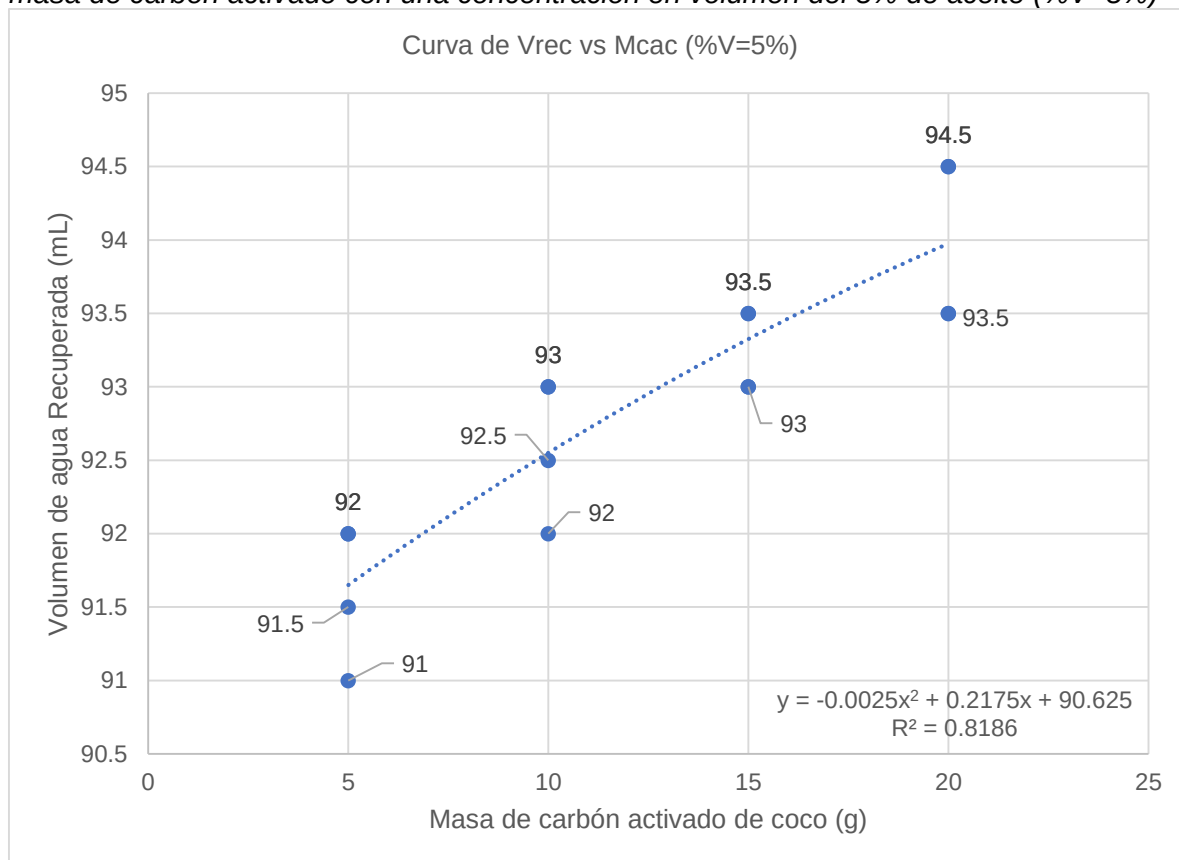
Fuente: Elaboración Propia.

Con la Tabla 7, donde encontramos los resultados luego de quitarle los valores atípicos, podremos realizar en análisis e interpretación de los resultados

Al analizar los datos, se pudo observar una tendencia general en la relación entre la masa de carbón activado y el volumen de agua recuperada. A medida que aumentaba la masa de carbón activado, el volumen de agua recuperada tendía a ser mayor. Sin embargo, esta fue proporcional como se observa en la figura 15, ya que a medida que se aumenta la masa de carbón activado de coco también aumenta el volumen de agua recuperada.

Figura 15

Curva resultados experimentales corregidos del volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%)

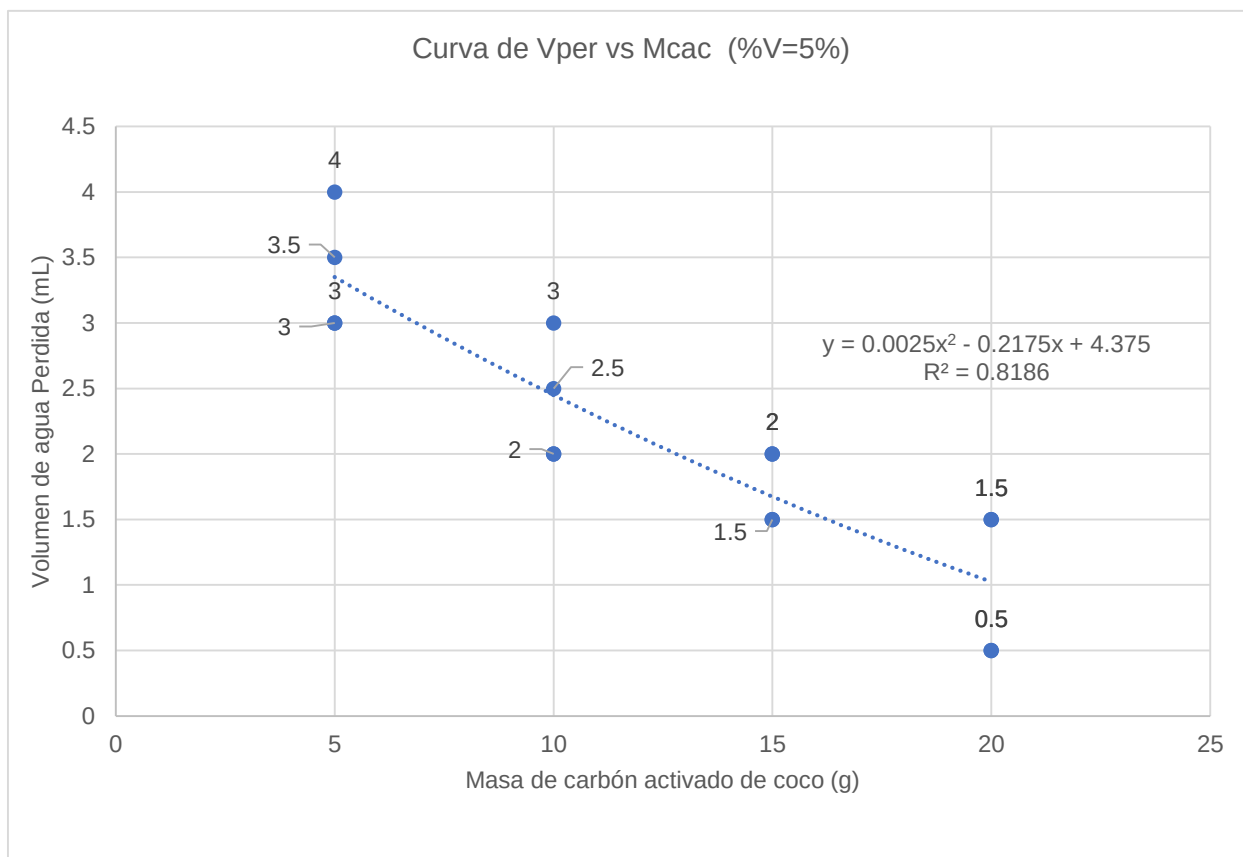


Fuente: Elaboración Propia.

Del mismo modo, al analizar la relación con el apoyo de la figura 16 entre la masa de carbón activado y el volumen de agua perdida, se encontró que, en general, a medida que aumentaba la masa de carbón, el volumen de agua perdida tendía a disminuir. Esta tendencia se mantuvo en la mayoría de las pruebas, con una reducción en el volumen de agua perdida al aumentar la masa de carbón de 5 g a 10 g y así sucesivamente.

Figura 16

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%)



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede concluir que, en las pruebas de adsorción de aceite utilizando una muestra sintética al 5% en volumen de aceites y grasas, el aumento en la masa de carbón activado de coco mostró una influencia positiva en el volumen de agua recuperada y una reducción en el volumen de agua perdida.

Para el cálculo de la eficiencia, se usó la ecuación 2, con la cual se demuestra que el carbón activado es eficiente para adherir aceites y grasas.

Tabla 8

Eficiencia de resultados experimentales con una concentración en volumen del 5% de aceite (%V=5%)

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Eficiencia (%)
7	5	5%	92	92.0%
19	5	5%	92	92.0%
45	5	5%	91	91.0%
51	5	5%	91.5	91.5%
8	10	5%	93	93.0%
20	10	5%	92.5	92.5%
46	10	5%	93	93.0%
52	10	5%	92	92.0%
17	15	5%	93	93.0%
47	15	5%	93.5	93.5%
49	15	5%	93.5	93.5%
70	15	5%	93	93.0%
18	20	5%	93.5	93.5%
48	20	5%	94.5	94.5%
50	20	5%	94.5	94.5%
71	20	5%	93.5	93.5%
Promedio				92.9 %±1.0 %

Fuente: Elaboración Propia.

Al analizar los resultados de la tabla 8, se pudo observar que la eficiencia de adsorción del aceites y grasas varió según la masa de carbón activado a base coco utilizado en cada prueba. Sin embargo, en todas las pruebas, la eficiencia no varió significativamente de $92.9\% \pm 1.0\%$.

En resumen, los resultados experimentales mostraron que utilizando carbón activado de coco fue eficiente $92.9\% \pm 1.0\%$ en todas las pruebas con una muestra sintética al cinco por ciento en volumen.

4.2.1.2 Adsorción usando concentración en volumen de 10 %

Se obtuvo los resultados en este caso considerando una muestra sintética con una concentración del 10% de aceite.

Tabla 9

Resultados experimentales con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)

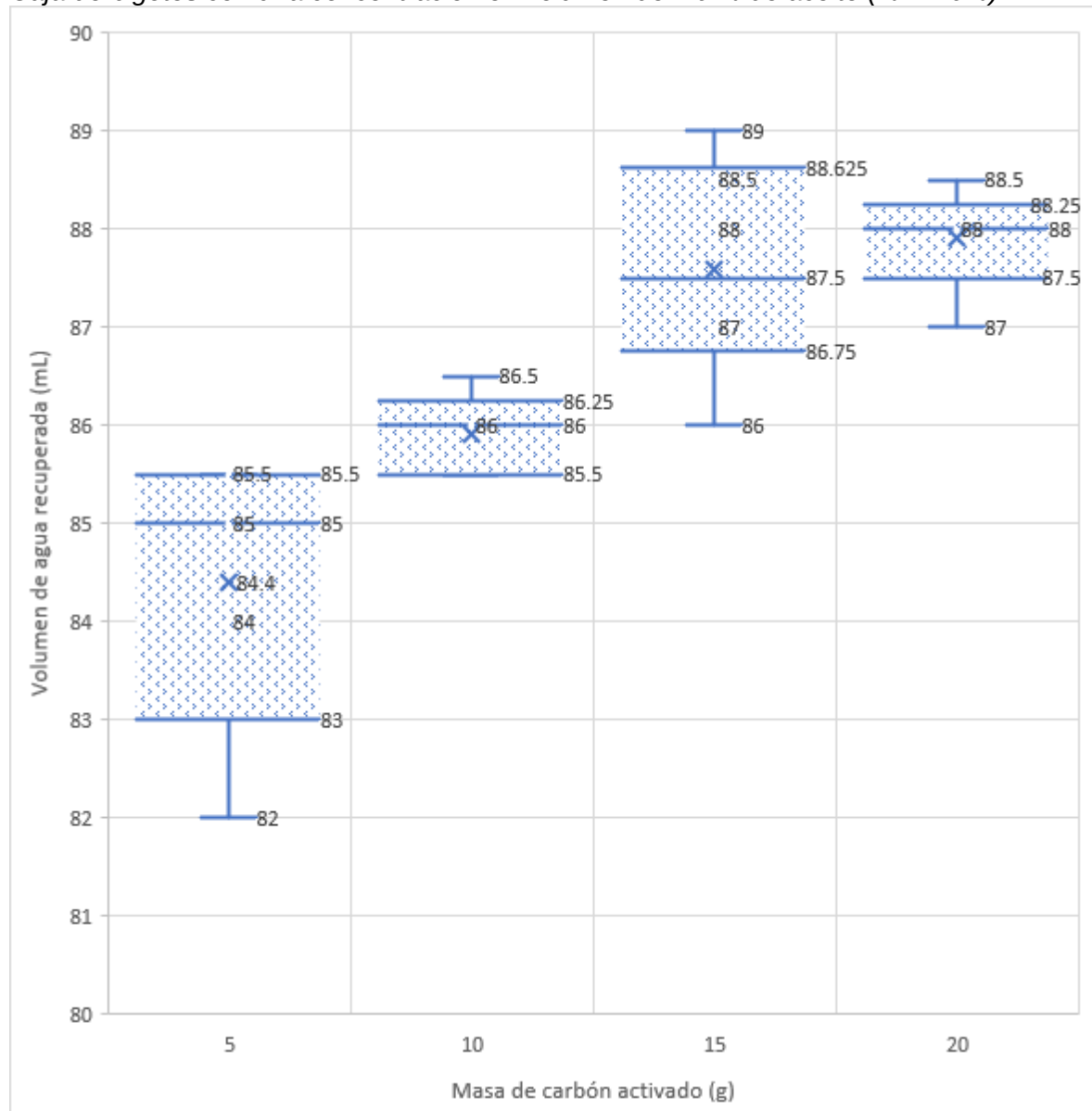
Nº Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
1	5	10	90	10%	85.5	4.5
9	5	10	90	10%	84	6
11	5	10	90	10%	82	8
35	5	10	90	10%	85	5
56	5	10	90	10%	85.5	4.5
2	10	10	90	10%	86	4
10	10	10	90	10%	86.5	3.5
12	10	10	90	10%	86	4
36	10	10	90	10%	85.5	4.5
57	10	10	90	10%	85.5	4.5
13	15	10	90	10%	86	4
15	15	10	90	10%	87	3
27	15	10	90	10%	89	1
29	15	10	90	10%	88	2
31	15	10	90	10%	88.5	1.5
58	15	10	90	10%	87	3
14	20	10	90	10%	87	3
16	20	10	90	10%	88	2
28	20	10	90	10%	88	2
30	20	10	90	10%	88.5	1.5
32	20	10	90	10%	88	2

Fuente: Elaboración Propia.

Al analizar los datos presentados en la Tabla 9, es necesario realizar un cuidadoso análisis de la existencia de datos atípicos o valores discordantes. Para este propósito, se empleó el método de detección de valores atípicos (outliers) mediante la representación visual de un diagrama de caja (boxplot). Esta técnica proporcionó una visión clara de la distribución de los datos y permitió identificar de manera precisa cualquier punto que pudiera influir en el análisis estadístico o en la interpretación de los resultados.

Figura 17

Caja de bigotes con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)



Fuente: Elaboración Propia.

El análisis de los datos de la figura 17 demostró que algunos de los resultados obtenidos en diversas pruebas se consideraron valores atípicos, ya que excedían los rangos intercuartílicos. Para mejorar la precisión y la validez de los análisis estadísticos de los resultados experimentales, se aplicó el método estadístico de detección de valores atípicos.

Tabla 10

Resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
1	5	10	90	10%	85.5	4.5
9	5	10	90	10%	84	6
35	5	10	90	10%	85	5
56	5	10	90	10%	85.5	4.5
2	10	10	90	10%	86	4
12	10	10	90	10%	86	4
36	10	10	90	10%	85.5	4.5
57	10	10	90	10%	85.5	4.5
15	15	10	90	10%	87	3
29	15	10	90	10%	88	2
31	15	10	90	10%	88.5	1.5
58	15	10	90	10%	87	3
16	20	10	90	10%	88	2
28	20	10	90	10%	88	2
32	20	10	90	10%	88	2

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos corregidos, aquellos que superaron el análisis de valores atípicos, fueron recopilados y presentados en la tabla 10. Estos datos son los que se consideran más confiables y representativos de las condiciones experimentales, lo que fortalece la calidad de la investigación y brinda una base sólida para las conclusiones y recomendaciones que se derivan del estudio.

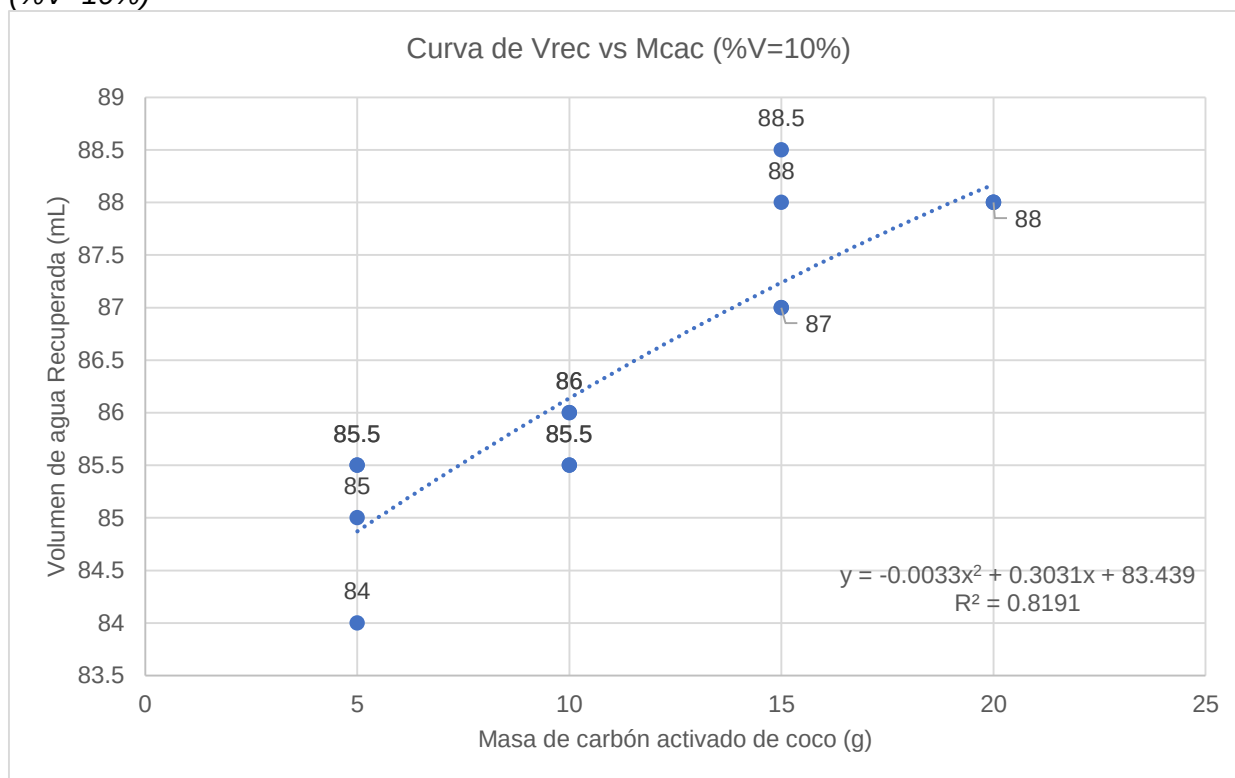
Al analizar los resultados experimentales al filtrar los datos de muestras realizadas con una muestra sintética al 10% en volumen de aceites y grasas, y ponerla en contacto con carbón activado de cáscara de coco para su adsorción, podemos observar las interrelaciones válidas.

Con relación a la masa de carbón activado de coco y el volumen de agua recuperada, se puede apreciar que, a medida que aumentaba la masa de carbón activado utilizado, el volumen de agua recuperada también tendía a aumentar como se ve la tendencia en la figura 18. Por ejemplo, en las pruebas con 5 g de carbón activado, se obtuvieron volúmenes de agua recuperada en el rango de 84 mL a 85.5 mL, mientras que,

en las pruebas con 20 g de carbón activado, los volúmenes de agua recuperada se mantuvieron constantes alrededor de 88 mL.

Figura 18

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)

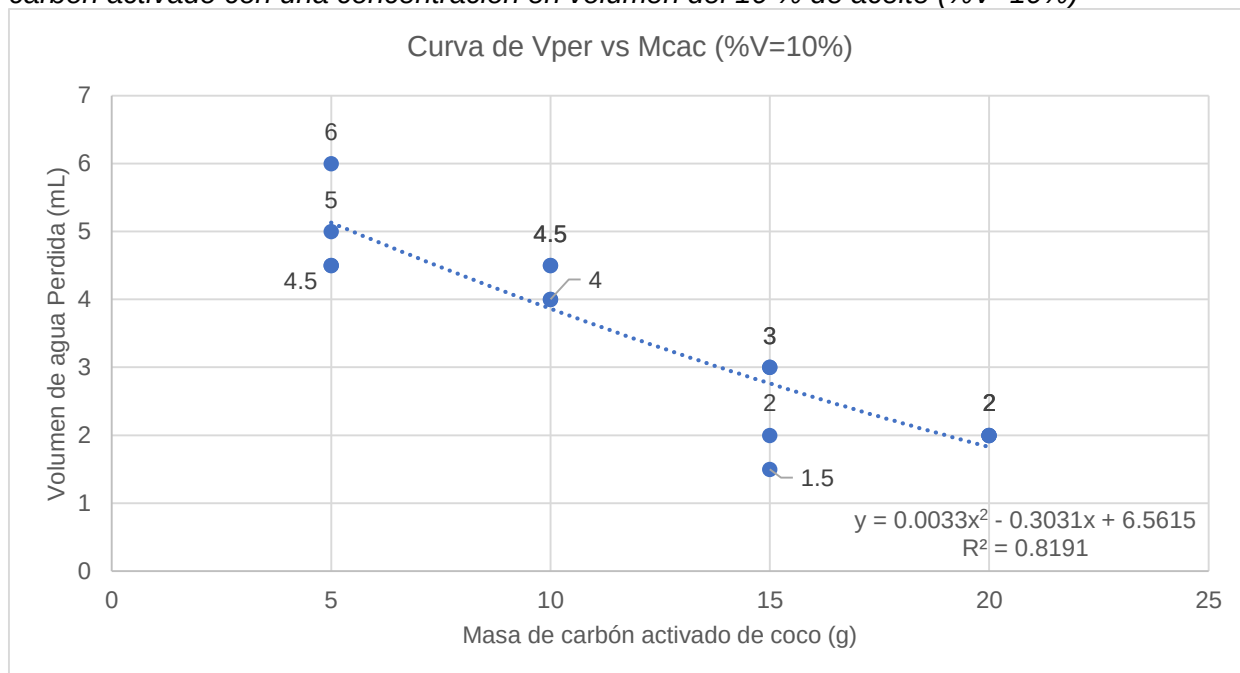


Fuente: Elaboración Propia.

Del mismo modo, al analizar la relación entre la segunda columna y la séptima columna de la tabla 10, se encontró que el aumento en la masa de carbón activado de coco tiende a decrecer el volumen de agua perdida como se observa en la figura 19. En general, las pruebas con 5 g de carbón activado presentaron volúmenes de agua perdida en el rango de 4.5 mL a 6 mL, mientras que las pruebas con 20 g de carbón activado tuvieron volúmenes de agua perdida de 2 mL.

Figura 19

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)



Fuente: Elaboración Propia.

El estudio ha demostrado que al utilizar más carbón activado de coco, se retiene más agua durante la adsorción de la muestra sintética. Esto se debe a que una mayor cantidad de carbón activado proporciona una mayor superficie para que el agua se adhiera, lo que resulta en un mayor volumen de agua recuperada y una menor cantidad de agua perdida.

Para el cálculo de la eficiencia, se usó la ecuación 2, con la cual se demuestra que el carbón activado es eficiente para adherir aceites y grasas.

Tabla 11

Eficiencia de resultados experimentales con una concentración en volumen del 10 % de aceite (%V=10%)

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Eficiencia (%)
1	5	10%	85.5	85.5%
9	5	10%	84	84.0%
35	5	10%	85	85.0%
56	5	10%	85.5	85.5%
2	10	10%	86	86.0%
12	10	10%	86	86.0%

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Eficiencia (%)
36	10	10%	85.5	85.5%
57	10	10%	85.5	85.5%
15	15	10%	87	87.0%
29	15	10%	88	88.0%
31	15	10%	88.5	88.5%
58	15	10%	87	87.0%
16	20	10%	88	88.0%
28	20	10%	88	88.0%
32	20	10%	88	88.0%
Promedio				86.5% ± 1.4%

Fuente: *Elaboración Propia.*

Al analizar los resultados de la tabla 11, se pudo observar que la eficiencia de adsorción del aceite varió dependiendo de la masa de carbón activado de coco utilizado en cada prueba. Sin embargo, en todas las pruebas, la eficiencia no varió significativamente $86.5\% \pm 1.4\%$, lo que sugirió que el proceso experimental fue efectivo para adherir una cantidad similar de aceites y grasas de carbón activado a base de coco en cada caso.

Además, se observó que la eficiencia de adsorción se mantuvo en el rango de [85% - 85.5%] para las pruebas con 5 g de carbón activado, mientras que se alcanzaron eficiencias del [87% - 88.5%] con las pruebas con 15 g de carbón activado. Esto indicó que el proceso de adsorción no se vio significativamente influenciado por la cantidad de carbón activado empleado.

Asimismo, estos valores indican que tal como se esperaba las pruebas con 15 g de carbón activado presentaron las eficiencias de adsorción más altas comparadas con las de 5g de carbón activado.

En resumen, los resultados experimentales indicaron que el proceso de adsorción utilizando carbón activado de coco fue altamente eficiente para adherir aceites y grasas de una muestra sintética al 10% en volumen.

4.2.1.3 Adsorción usando concentración en volumen de 15%

Se obtuvo los resultados en este caso considerando una muestra sintética con una concentración del 15% de aceite.

Tabla 12

Resultados experimentales con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)

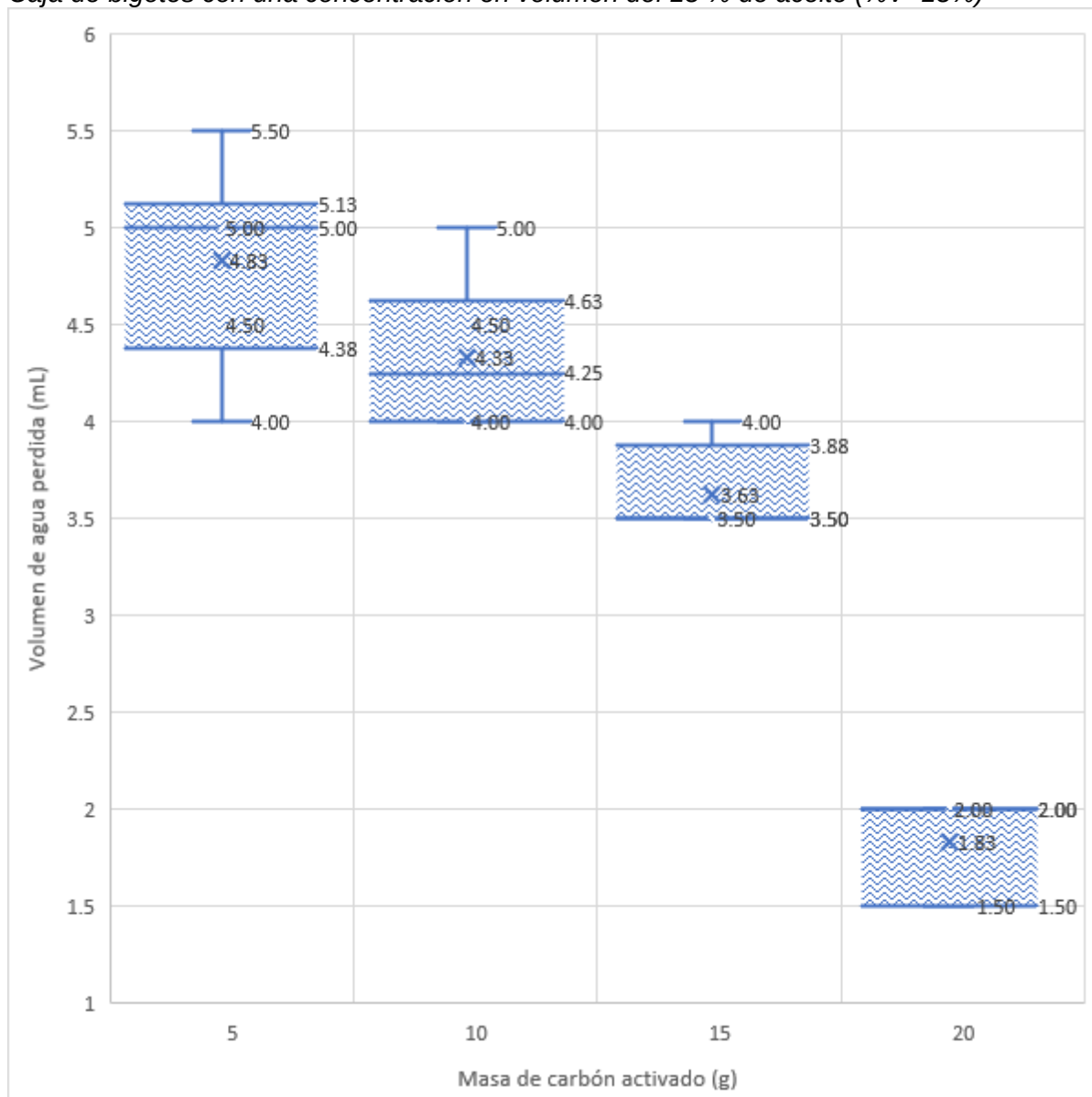
N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
23	5	15	85	15%	81	4
25	5	15	85	15%	80	5
33	5	15	85	15%	80.5	4.5
37	5	15	85	15%	80	5
39	5	15	85	15%	80	5
53	5	15	85	15%	79.5	5.5
24	10	15	85	15%	80.5	4.5
26	10	15	85	15%	81	4
34	10	15	85	15%	81	4
38	10	15	85	15%	81	4
40	10	15	85	15%	80	5
54	10	15	85	15%	80.5	4.5
68	15	15	85	15%	81.5	3.5
69	15	15	85	15%	81.5	3.5
41	15	15	85	15%	81	4
43	15	15	85	15%	81.5	3.5
42	20	15	85	15%	83	2
44	20	15	85	15%	83	2
55	20	15	85	15%	83.5	1.5

Fuente: Elaboración Propia.

Al analizar los datos presentados en la tabla 12, es necesario realizar un análisis de la existencia de datos atípicos. Para este propósito, se empleó el método de detección de valores atípicos (outliers) mediante la representación visual de un diagrama de caja (boxplot). Esta técnica proporcionó una visión clara de la distribución de los datos y permitió identificar de manera precisa cualquier punto que pudiera influir en el análisis estadístico o en la interpretación de los resultados.

Figura 20

Caja de bigotes con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)



Fuente: Elaboración Propia.

El análisis de los datos de la figura 20, reveló que se identificaron algunos resultados de diversas pruebas como valores atípicos debido a que superaban los rangos intercuartílicos. Con el propósito de mejorar la precisión y la validez de los análisis estadísticos realizados con los datos experimentales, se utilizó el método estadístico de detección de valores atípicos. A continuación, en la Tabla 13 se muestran los valores corregidos y más representativos en los que se han eliminado los puntos atípicos que corresponden a las diecinueve pruebas.

Tabla 13

Resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)

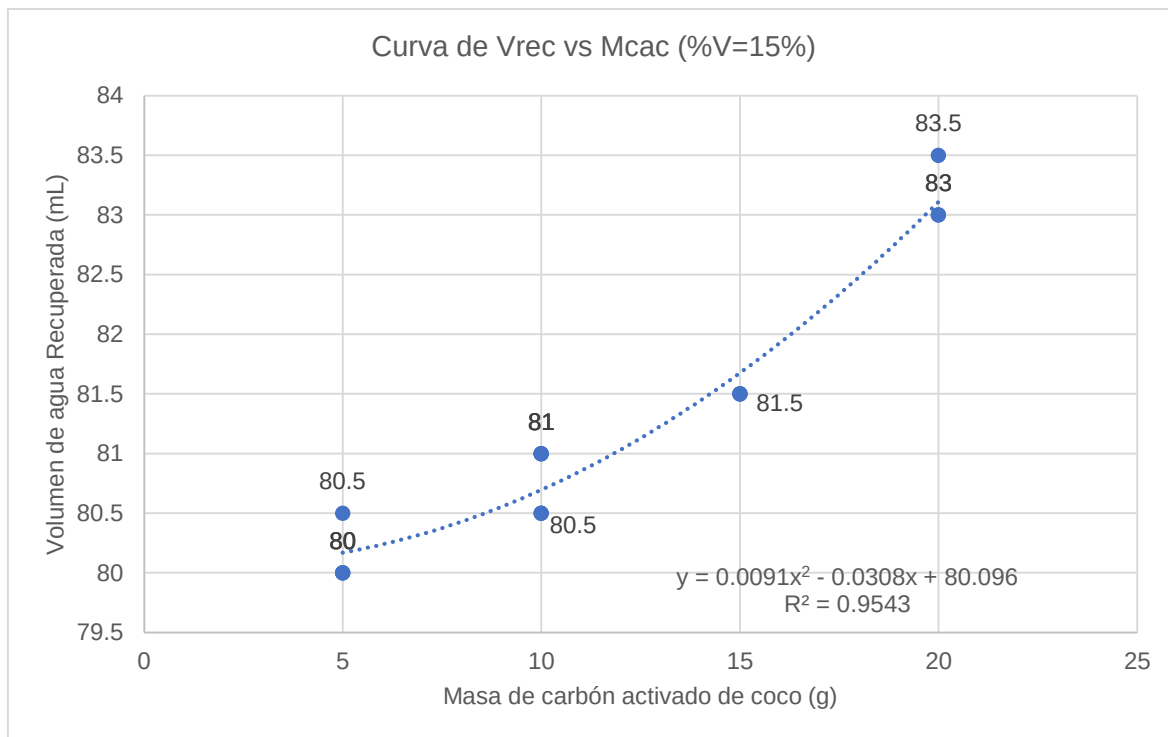
N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
25	5	15	85	15%	80	5
33	5	15	85	15%	80.5	4.5
37	5	15	85	15%	80	5
39	5	15	85	15%	80	5
24	10	15	85	15%	80.5	4.5
26	10	15	85	15%	81	4
34	10	15	85	15%	81	4
38	10	15	85	15%	81	4
54	10	15	85	15%	80.5	4.5
68	15	15	85	15%	81.5	3.5
69	15	15	85	15%	81.5	3.5
43	15	15	85	15%	81.5	3.5
42	20	15	85	15%	83	2
44	20	15	85	15%	83	2
55	20	15	85	15%	83.5	1.5

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos corregidos, aquellos que superaron el análisis de valores atípicos, se han recopilado y presentado en la Tabla 13. En el análisis de los resultados experimentales al filtrar los datos de muestras realizadas con una muestra sintética al 15% en volumen de aceites y grasas y ponerla en contacto con carbón activado de cáscara de coco para su adsorción (ver figura 21), se observó que, a medida que aumentaba la masa de carbón activado utilizado, el volumen de agua recuperada también tendía a aumentar. Por ejemplo, en las pruebas con 5 g de carbón activado, se obtuvieron volúmenes de agua recuperada en el rango de 80 mL a 80.5 mL, mientras que, en las pruebas con 20 g de carbón activado, los volúmenes de agua recuperada se situaron alrededor de 83 mL. Esto demuestra lo que ya es conocido que a mayor cantidad de carbón activado lógicamente se tiene una mayor área superficial para la adsorción del aceites y grasas, lo que se reflejó en un aumento en el volumen de agua recuperada.

Figura 21

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)

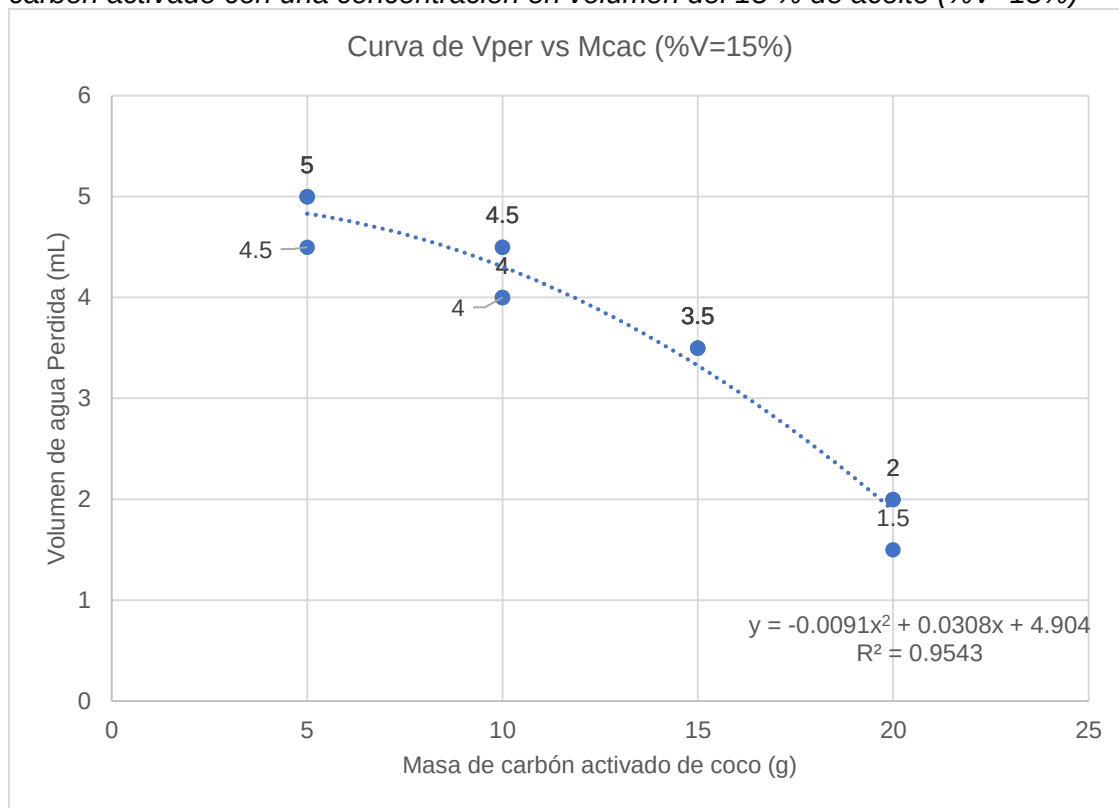


Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, se observó que, al aumentar la masa de carbón activado de coco, el volumen de agua perdida también tendió a disminuir como se observa en la figura 22. En general, las pruebas con 5 g de carbón activado presentaron volúmenes de agua perdida en el rango de 4.5 mL a 5 mL, mientras que las pruebas con 20 g de carbón activado tuvieron volúmenes de agua perdida de 1.5 mL. Esto sugiere que una mayor masa de carbón activado a base de coco favoreció la adsorción de aceites y grasas y por ende a mayor volumen de agua recuperada.

Figura 22

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)



Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados indican que el aumento en la masa de carbón activado de coco favorece la retención de agua durante el proceso de adsorción de aceites y grasas en la muestra sintética. Una mayor masa de carbón activado proporciona una mayor área superficial para la adsorción del agua, lo que conduce a un aumento en el volumen de agua recuperada y a una reducción en el volumen de agua perdida.

Estos hallazgos son relevantes para optimizar el proceso de adsorción y garantizar una mayor eficiencia en la retención de aceites y grasas. La utilización de carbón activado de coco demostró ser efectiva en la muestra sintética, y la cantidad de carbón activado empleado jugó un papel importante en la eficiencia del proceso de adsorción.

Para el cálculo de la eficiencia de adsorción de aceites y grasas, se usó la ecuación 2, con la cual se demuestra que el carbón activado es eficiente para adherir aceites y grasas

Tabla 14

Eficiencia de resultados experimentales con una concentración en volumen del 15 % de aceite (%V=15%)

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Eficiencia (%)
25	5	15%	80	80.0%
33	5	15%	80.5	80.5%
37	5	15%	80	80.0%
39	5	15%	80	80.0%
24	10	15%	80.5	80.5%
26	10	15%	81	81.0%
34	10	15%	81	81.0%
38	10	15%	81	81.0%
54	10	15%	80.5	80.5%
68	15	15%	81.5	81.5%
69	15	15%	81.5	81.5%
43	15	15%	81.5	81.5%
42	20	15%	83	83.0%
44	20	15%	83	83.0%
55	20	15%	83.5	83.5%
Promedio				81.2% $\pm$1.1%

Fuente: Elaboración Propia.

En el análisis de los resultados experimentales, donde se filtraron los datos de muestras con un contenido de aceites y grasas del 15% en volumen, y se pusieron en contacto con carbón activado de cáscara de coco para su adsorción, se evaluó la eficiencia del proceso de adsorción del aceite dichos datos se ubican en la tabla 14.

Los resultados demostraron que la eficiencia de adsorción fue alta siendo de 81.2% $\pm$ 1.1 % y con poca variación en todas las pruebas al adherir aceites y grasas de una muestra al 15 % en volumen de la muestra sintética. En resumen, la utilización del carbón activado de cáscara de coco demostró ser un método efectivo para adherir y retener aceites y grasas

4.2.1.4 Adsorción usando concentración en volumen de 25 %

A continuación, en la Tabla 15, se presentan los resultados mediante el análisis de una muestra sintética con una concentración del 25% de aceite. Con esta base, se inició el experimento para determinar la capacidad de adsorción del aceite presente en la muestra, mediante la adición de distintas cantidades de carbón activado.

Tabla 15

Resultados experimentales con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)

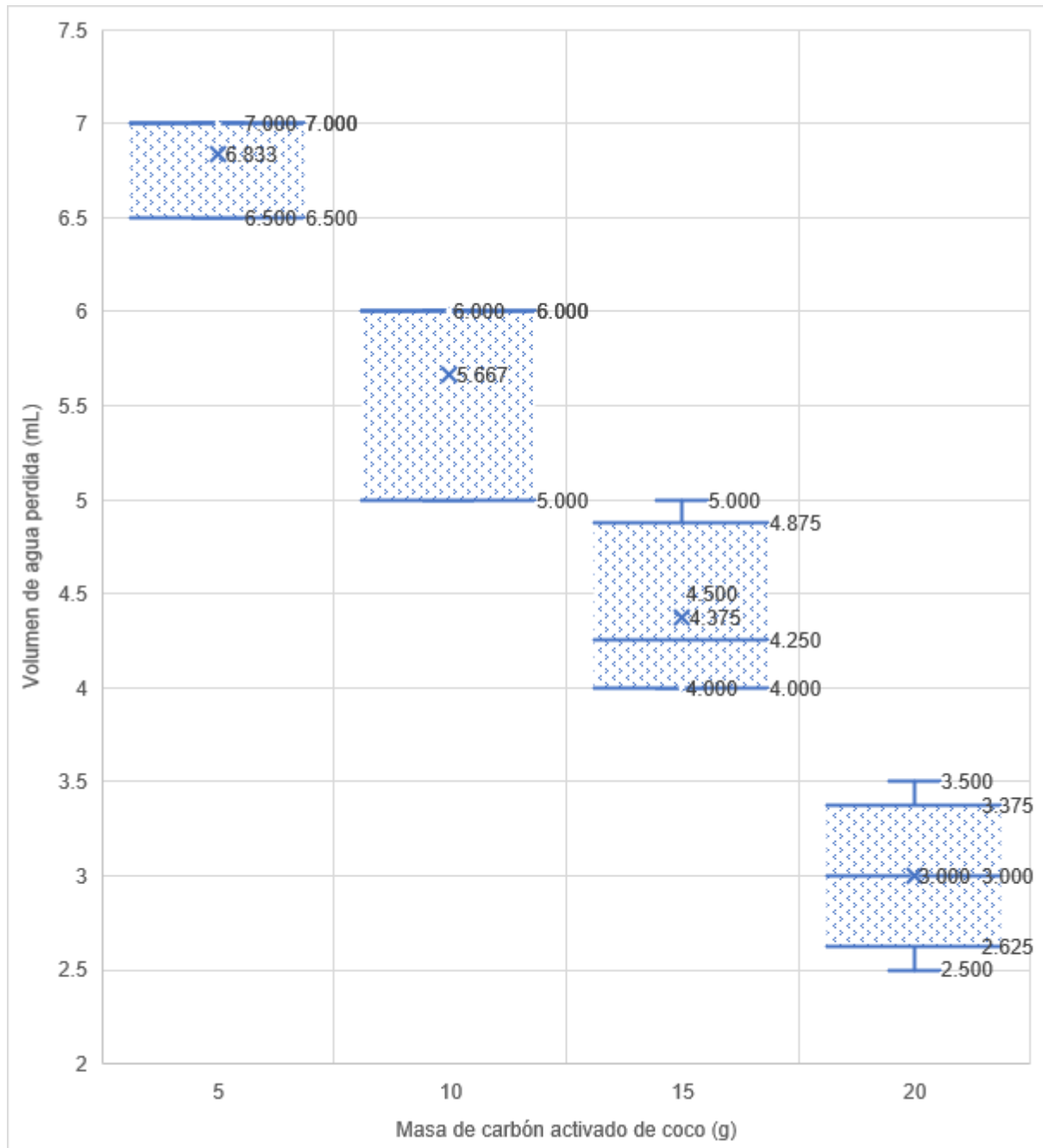
N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
72	5	25	75	25%	68	7
62	5	25	75	25%	68.5	6.5
5	5	25	75	25%	68	7
63	10	25	75	25%	69	6
6	10	25	75	25%	69	6
59	10	25	75	25%	70	5
64	15	25	75	25%	70	5
66	15	25	75	25%	71	4
21	15	25	75	25%	70.5	4.5
60	15	25	75	25%	71	4
65	20	25	75	25%	72	3
67	20	25	75	25%	72	3
22	20	25	75	25%	71.5	3.5
61	20	25	75	25%	72.5	2.5

Fuente: Elaboración Propia.

Durante el análisis de los datos recopilados en la Tabla 15, se llevó a cabo un análisis para detectar la presencia de valores atípicos o discordantes. Con el fin de lograr este propósito, se aplicó el método de detección de valores atípicos, también conocido como outliers, empleando un diagrama de caja (boxplot) como representación visual denotado en la figura 23. Esta estrategia permitió una clara visualización de la distribución de los datos, identificando con precisión cualquier punto que pudiera afectar el análisis estadístico o la interpretación de los resultados obtenidos.

Figura 23

Caja de bigotes con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)



Fuente: Elaboración Propia.

Como parte de la metodología, se ha establecido tener tres datos por caso en los experimentos de 20g. Al analizar la figura 23, se ha identificado un dato atípico en la prueba experimental número 22; por lo tanto, prescindió de este dato atípico. Esta decisión está respaldada por el hecho de que la tendencia general de la curva es decreciente, lo que sugiere que el dato en cuestión es inconsistente con los demás resultados. La exclusión

de este dato inusual nos permite obtener una visión más precisa y consistente de los resultados de los experimentos de 20g, lo cual es esencial para obtener conclusiones sólidas y confiables en nuestra investigación.

Tabla 16

Resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
72	5	25	75	25%	68	7
62	5	25	75	25%	68.5	6.5
5	5	25	75	25%	68	7
63	10	25	75	25%	69	6
6	10	25	75	25%	69	6
59	10	25	75	25%	70	5
66	15	25	75	25%	71	4
21	15	25	75	25%	70.5	4.5
60	15	25	75	25%	71	4
65	20	25	75	25%	72	3
67	20	25	75	25%	72	3
61	20	25	75	25%	72.5	2.5

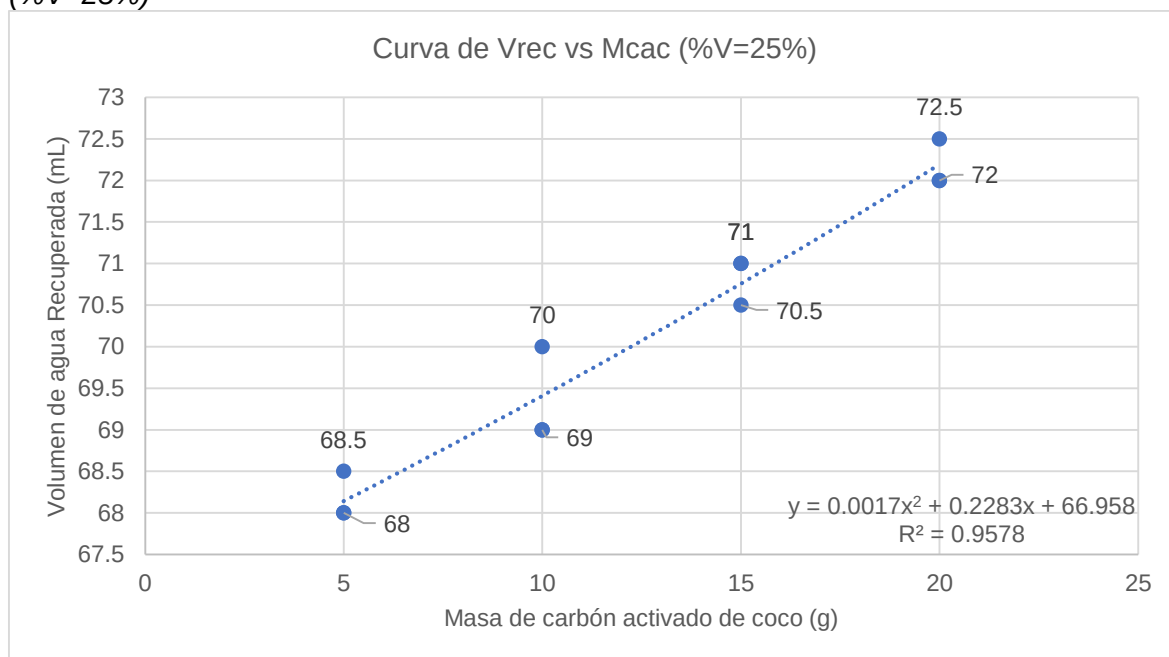
Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 16 muestra los resultados corregidos luego de la discriminación por el método de valores atípicos, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de muestras sintéticas con un contenido del 25% en volumen de aceites y grasas.

Plasmadas gráficamente en la figura 24 se examinaron la relación entre la masa de carbón activado de coco utilizado y el volumen de agua recuperada. se observó un patrón interesante a medida que aumentaba la cantidad de carbón activado, se observó una tendencia al incremento del volumen de agua recuperada. Con lo que se deduce que una mayor cantidad de carbón activado proporcionó una mayor área de adsorción de aceites y grasas, lo que a su vez produce un mayor volumen de agua recuperada, ya que una parte del aceite quedó adherido en el carbón activado.

Figura 24

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)

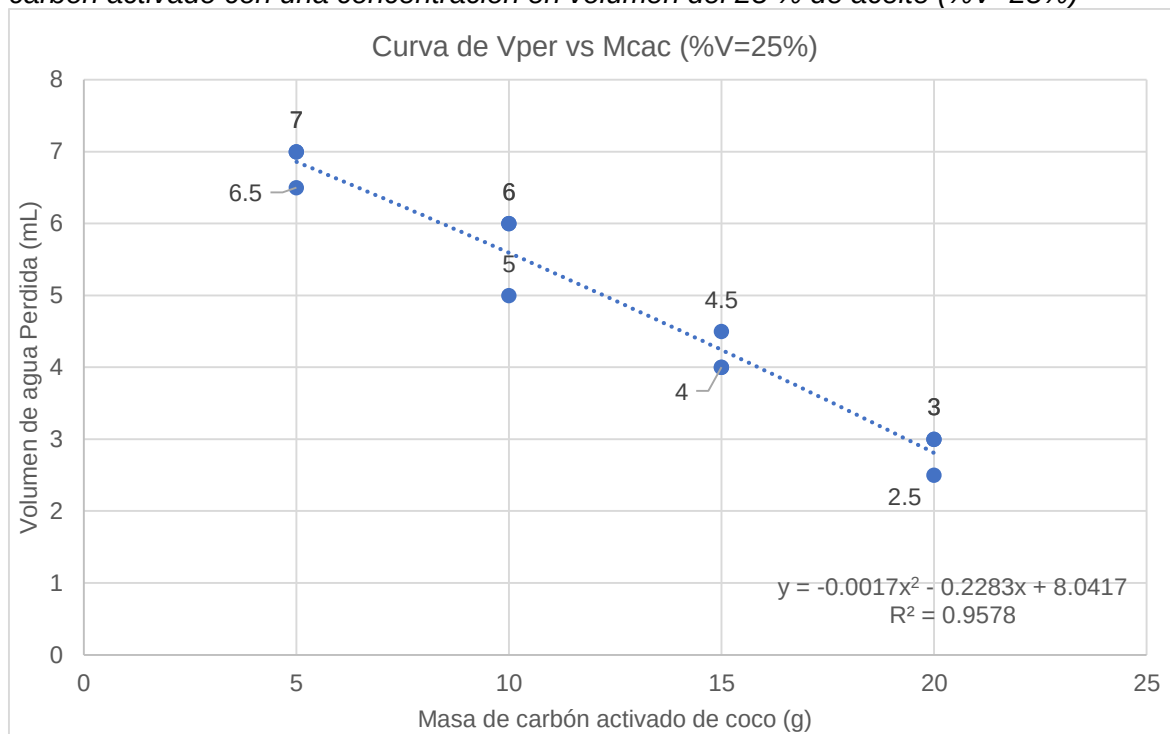


Fuente: Elaboración Propia.

Además, se realizó un análisis sobre la relación entre la masa de carbón activado y el volumen de agua perdida, gráficamente mostrada en la figura 25. Los mostraron que, al aumentar la cantidad de carbón activado de coco, se observó una disminución en el volumen de agua perdida, con lo que se concluye que una mayor masa de carbón activado favoreció la adsorción de aceite y grasa de la muestra sintética, lo que llevó a una menor cantidad de agua perdida.

Figura 25

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida versus masa de carbón activado con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)



Fuente: Elaboración Propia.

En resumen, los resultados experimentales destacaron la importancia de la masa de carbón activado en el proceso de adsorción de la muestra sintética al 25% en volumen de aceites y grasas mediante el uso de carbón activado de cáscara de coco. Una mayor cantidad de carbón activado se asoció con una mayor cantidad de agua recuperada y una menor cantidad de agua perdida. El uso del carbón activado de coco se mostró efectivo en la adsorción de aceites y grasas.

En la evaluación de la eficiencia del proceso, se aplicó una ecuación 2 para obtener valores precisos.

Tabla 17

Eficiencia de resultados experimentales corregidos con una concentración en volumen del 25 % de aceite (%V=25%)

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Eficiencia (%)
72	5	25%	68	68.0%
62	5	25%	68.5	68.5%
5	5	25%	68	68.0%
63	10	25%	69	69.0%
6	10	25%	69	69.0%
59	10	25%	70	70.0%
66	15	25%	71	71.0%
21	15	25%	70.5	70.5%
60	15	25%	71	71.0%
65	20	25%	72	72.0%
67	20	25%	72	72.0%
61	20	25%	72.5	72.5%
Promedio				70.1% ± 1.6%

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos experimentales revelaron una consistencia notable en la eficiencia según se observa en la tabla 17, obteniendo una eficiencia de $70.1\% \pm 1.6\%$ de adsorción en todas las pruebas. Tanto las muestras con 5 gramos de carbón activado como las que utilizaron 20 gramos mostraron eficiencias que oscilaron entre el 68.0% y el 72.5%.

Es importante resaltar que las eficiencias obtenidas en este estudio son notables, especialmente considerando el alto contenido de aceites y grasas en la muestra sintética. El carbón activado de cáscara de coco demostró una capacidad impresionante para adsorber y retener eficientemente los componentes indeseados, lo que resultó en una adsorción efectiva de entre el 68% y el 72.5% de la muestra.

Estos resultados alentadores sugieren que el carbón activado de coco es una opción valiosa para aplicaciones prácticas que enfrentan el desafío de adsorción muestras con contenido de 25% en volumen de aceites y grasas. En conclusión, el carbón activado de cáscara de coco se presenta como una solución efectiva para la adsorción de muestras con aceites y grasas.

4.2.2 Adsorción de grasa a masa constante

Los resultados presentados en esta ocasión provienen específicamente de la tabla 6, la cual forma parte de los datos recolectados durante el estudio.

La agrupación de los datos con características similares de masa de carbón activado utilizado simplifica la comparación y la detección de tendencias o patrones en la capacidad de adsorción del carbón activado a base de cáscara de coco.

Los resultados que se analizaron son los que ya fueron corroborados su validez con el método de valores atípicos, basada en la representación gráfica del diagrama de caja, para la identificación de posibles datos anómalos en la muestra estudiada.

4.2.2.1 Adsorción usando 5g carbón activado

En el análisis se muestran resultados mediante el análisis de una muestra sintética que se puso en contacto con 5 g de carbón activado de coco.

A lo largo del experimento, se realizaron diversas mediciones al emplear el carbón activado con diferentes concentraciones en volumen de aceite. Cada registro de datos permitió establecer una relación directa entre la cantidad de carbón activado utilizado y su impacto correspondiente sobre la capacidad de adsorción del aceite.

Tabla 18

Resultados experimentales corregidos con 5g de carbón activado de coco

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
7	5	5	95	5%	92	3
19	5	5	95	5%	92	3
45	5	5	95	5%	91	4
51	5	5	95	5%	91.5	3.5
1	5	10	90	10%	85.5	4.5
9	5	10	90	10%	84	6
35	5	10	90	10%	85	5
56	5	10	90	10%	85.5	4.5
23	5	15	85	15%	81	4
25	5	15	85	15%	80	5
33	5	15	85	15%	80.5	4.5
37	5	15	85	15%	80	5
39	5	15	85	15%	80	5

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
72	5	25	75	25%	68	7
5	5	25	75	25%	68	7
62	5	25	75	25%	68.5	6.5

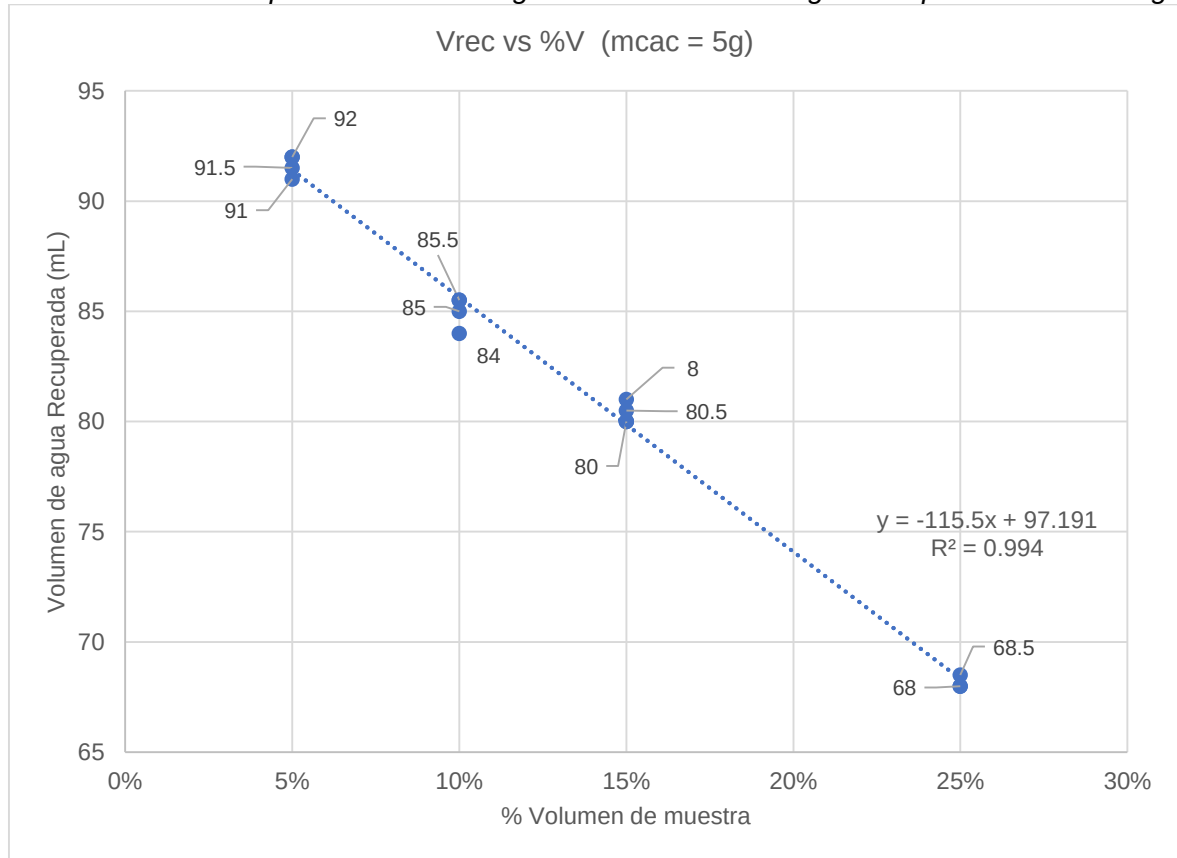
Fuente: Elaboración Propia.

En el análisis de los resultados experimentales de la tabla 18, se evaluaron muestras sintéticas que estuvieron en contacto con 5 g de carbón activado de coco. Se realizaron mediciones detalladas para cada prueba, incluyendo el volumen de aceite, el volumen de agua y el porcentaje en volumen de muestra. El objetivo fue determinar la cantidad óptima de carbón activado necesaria para lograr la máxima eficiencia en la remoción del aceite presente en la muestra.

Al estudiar la interrelación entre el porcentaje en volumen de muestra y volumen de agua recuperada el cual se expresa gráficamente en la figura 26, se pudo observar que, en general, que durante el proceso de adsorción con el carbón activado de coco a medida que aumentaba el porcentaje en volumen de muestra con aceite, se registraba una disminución en el volumen de agua recuperada.

Figura 26

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada con $m = 5\text{ g}$

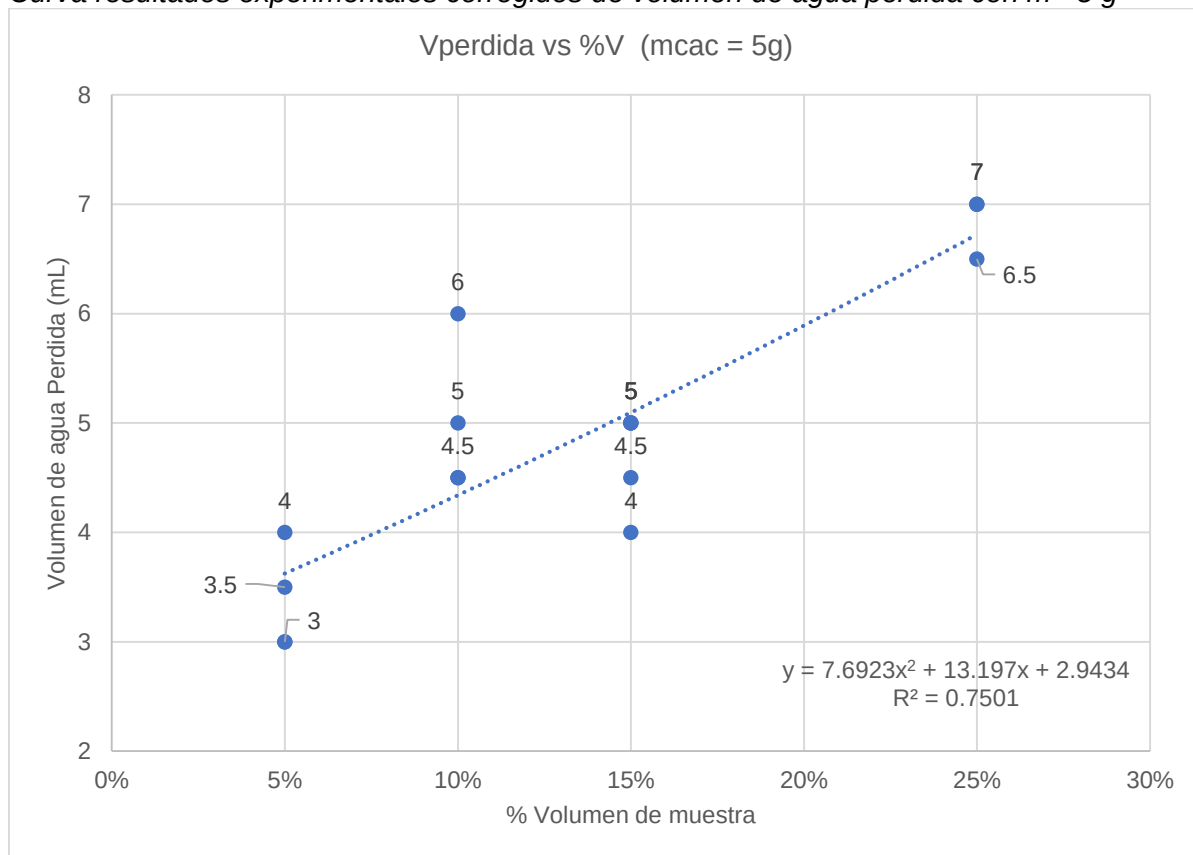


Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, al analizar la interacción entre el porcentaje en volumen de muestra y el volumen de agua perdida denotada gráficamente en la figura 27, se pudo notar que los valores de volumen de agua perdida mostraban una tendencia similar a la del volumen de agua recuperada. A medida que aumentaba el porcentaje en volumen de muestra, se registraba una disminución 4.84 % en el volumen de agua perdida.

Figura 27

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida con m= 5 g



Fuente: Elaboración Propia.

En resumen, los resultados experimentales indican que existe una relación inversa entre el porcentaje en volumen de muestra que contiene aceites y grasas y los volúmenes de agua recuperada. A mayores concentraciones de aceite en la muestra, se observa una reducción en la cantidad de agua recuperada durante el proceso de adsorción con el carbón activado de coco. Estos hallazgos destacan el carbón activado de coco como un material con eficiencia de $82 \% \pm 8.2 \%$ adsorbente para la remoción de aceites en muestras sintéticas, demostrando su capacidad para adsorber aceites y grasas presentes en las muestras evaluadas.

4.2.2.2 Adsorción usando 10 g carbón activado

En la tabla 19 se muestran resultados mediante el análisis de una muestra sintética que se puso en contacto con 10 g de carbón activado de coco.

Tabla 19

Resultados experimentales corregidos con 10g de carbón activado de coco

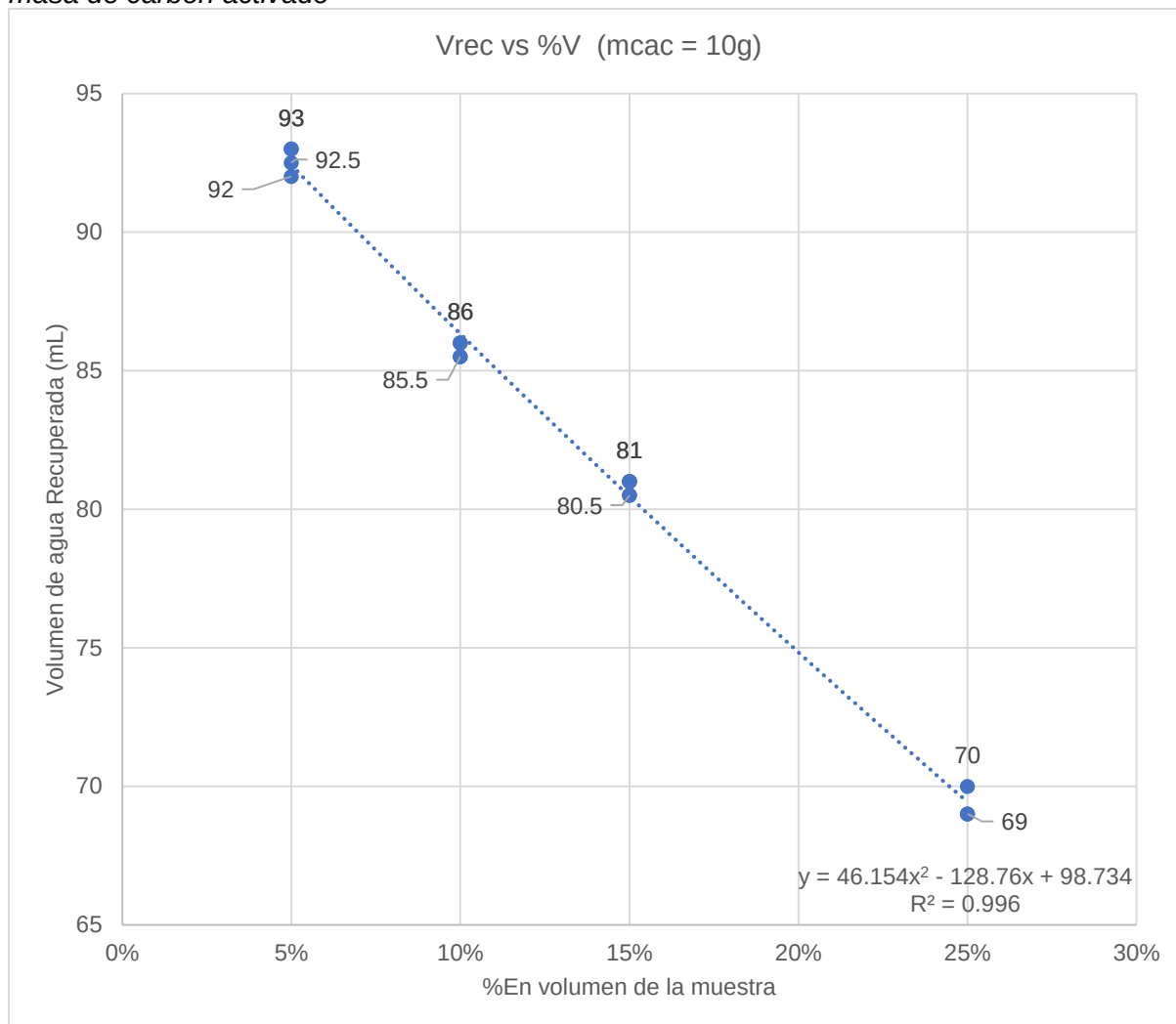
N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
8	10	5	95	5%	93	2
20	10	5	95	5%	92.5	2.5
46	10	5	95	5%	93	2
52	10	5	95	5%	92	3
2	10	10	90	10%	86	4
12	10	10	90	10%	86	4
36	10	10	90	10%	85.5	4.5
57	10	10	90	10%	85.5	4.5
24	10	15	85	15%	80.5	4.5
26	10	15	85	15%	81	4
34	10	15	85	15%	81	4
38	10	15	85	15%	81	4
54	10	15	85	15%	80.5	4.5
6	10	25	75	25%	69	6
59	10	25	75	25%	70	5
63	10	25	75	25%	69	6

Fuente: Elaboración Propia.

Con los resultados de la Tabla 19 se observa una relación inversa entre el porcentaje en volumen de muestra de aceites y el volumen de agua recuperada. Esta relación se presenta en la Figura 28 donde se observa que, a mayores concentraciones de aceite en la muestra, se logró recuperar una mayor cantidad de agua durante el proceso de adsorción con el carbón activado de coco.

Figura 28

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada con 10 g de masa de carbón activado

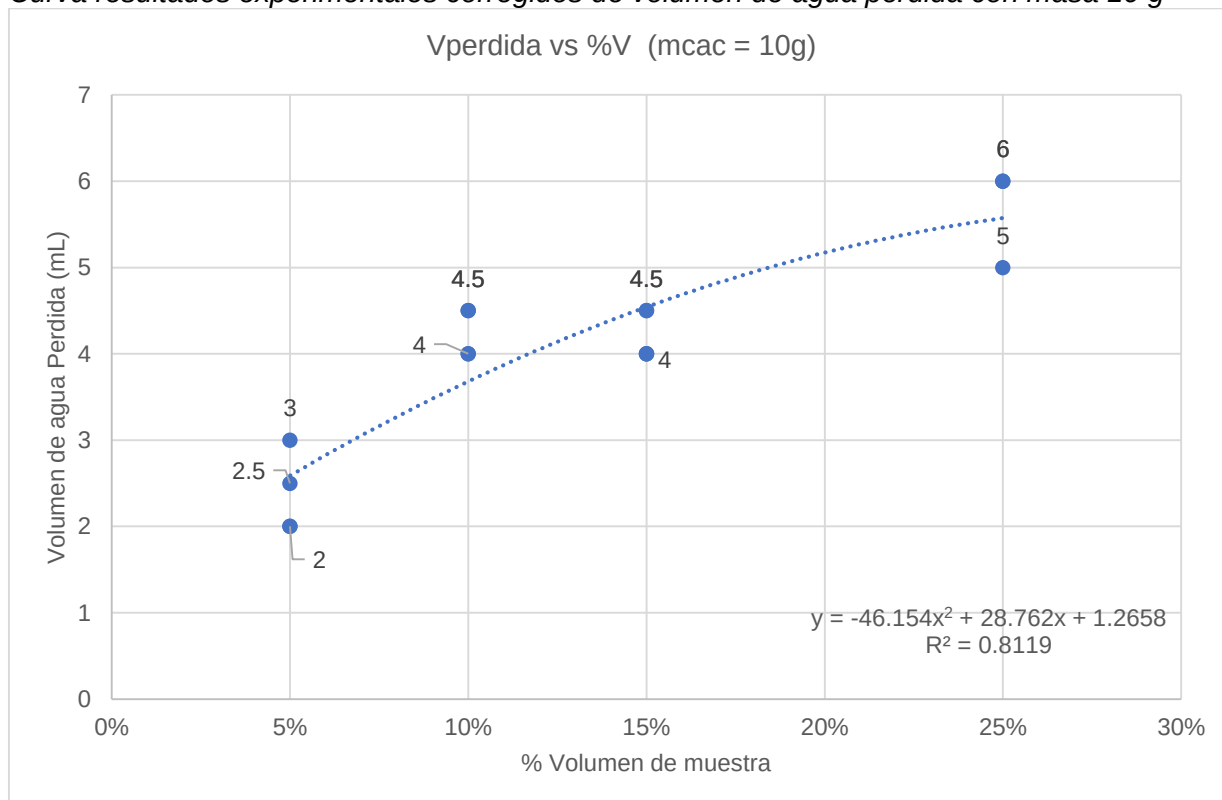


Fuente: Elaboración Propia.

Además, se observó una relación directa entre el porcentaje en volumen de muestra y el volumen de agua perdida expresadas gráficamente en la figura 29. Al respecto, los valores de volumen de agua perdida aumentaban a medida que aumentaba el porcentaje en volumen de muestra. Esto indica que, a mayores concentraciones de aceite en la muestra, se incrementó la cantidad de agua que se perdió durante el proceso de adsorción con el carbón activado de coco

Figura 29

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida con masa 10 g



Fuente: Elaboración Propia.

En resumen, los resultados experimentales indican que existe una relación inversa entre el porcentaje en volumen de muestra de aceite y el volumen de agua recuperada, así como una relación directa entre el porcentaje en volumen de muestra y el volumen de agua perdida. Estos hallazgos destacan el carbón activado de coco se muestra como un material con una eficiencia promedio de $82.84 \% \pm 8.1 \%$ en la adsorción de muestras con diferentes concentraciones en volumen de aceite.

4.2.2.3 Adsorción usando 15 g carbón activado

La Tabla 20 a continuación muestra los resultados mediante el análisis de una muestra sintética que se puso en contacto con 15 g de carbón activado de coco.

Tabla 20

Resultados experimentales corregidos con 15g de carbón activado de coco

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
17	15	5	95	5%	93	2
47	15	5	95	5%	93.5	1.5
49	15	5	95	5%	93.5	1.5
15	15	10	90	10%	87	3
29	15	10	90	10%	88	2
31	15	10	90	10%	88.5	1.5
58	15	10	90	10%	87	3
68	15	15	85	15%	81.5	3.5
69	15	15	85	15%	81.5	3.5
43	15	15	85	15%	81.5	3.5
21	15	25	75	25%	70.5	4.5
60	15	25	75	25%	71	4
66	15	25	75	25%	71	4

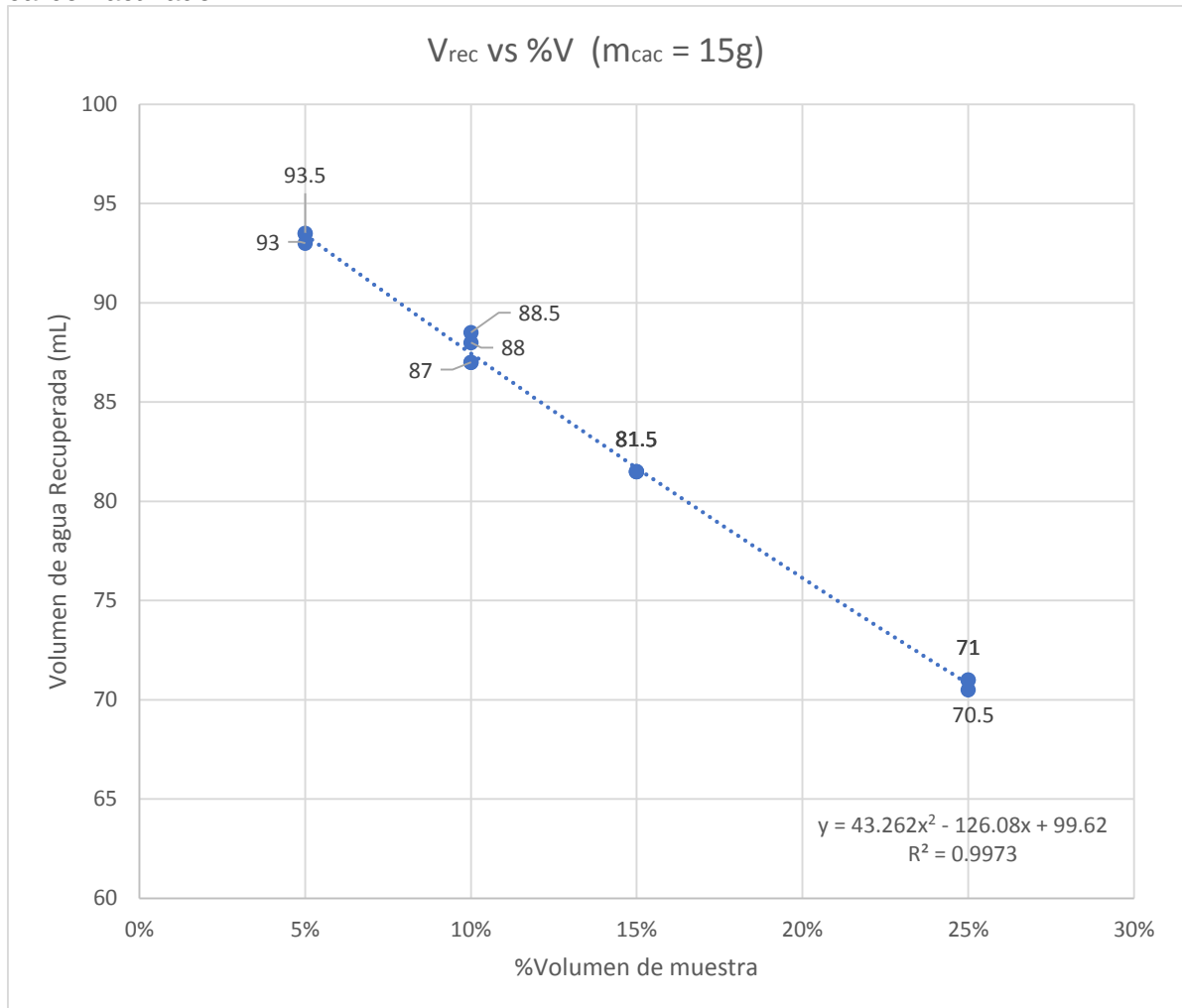
Fuente: Elaboración Propia.

En el análisis de los resultados experimentales de la tabla 20, se evaluaron muestras sintéticas que estuvieron en contacto con 15 g de carbón activado de coco.

Al examinar la relación entre el porcentaje en volumen de muestra y el volumen de agua recuperada, se observa que a medida que aumentaba el porcentaje en volumen de muestra, disminuye la cantidad de agua recuperada. Esto sugiere que, en muestras con una mayor concentración de aceite, se logró recuperar menos agua durante el proceso de adsorción con el carbón activado de coco. A continuación, se presenta la figura 30 que muestra la relación inversa volumen de agua recuperada y la muestra sintética con aceites y grasas.

Figura 30

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada con 15 g de carbón activado

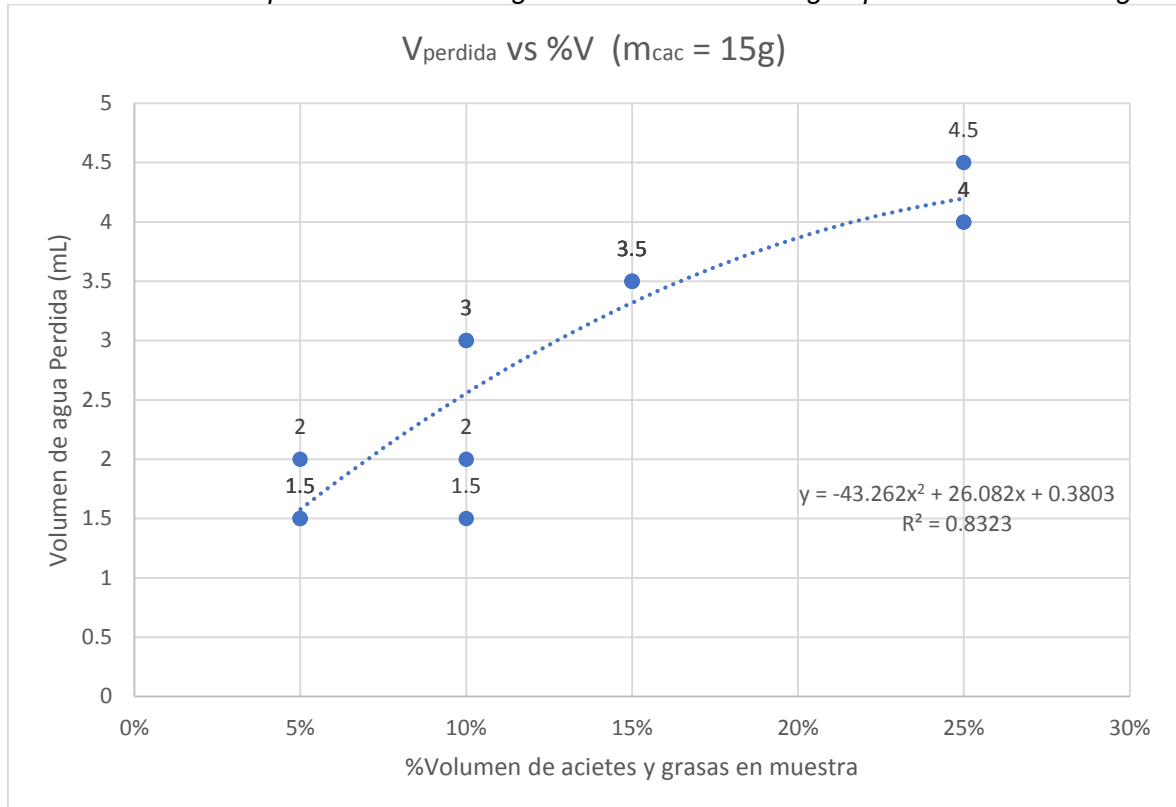


Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, la figura 31 muestra la relación entre el porcentaje en volumen de la muestra sintética con aceites y grasas y el volumen de agua perdida, donde los resultados experimentales muestran una asociación directa entre el porcentaje en volumen de muestra y el volumen de agua recuperada.

Figura 31

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida con $m = 15\text{ g}$



Fuente: Elaboración Propia.

Estos hallazgos destacan la eficacia de $84.75\% \pm 8.0\%$ para las muestras que usaron 15g del carbón activado de coco como adsorbente de aceites en muestras sintéticas, demostrando su capacidad para retener y adsorber eficientemente aceites y grasas presentes en las muestras evaluadas.

4.2.2.4 Adsorción usando 20 g carbón activado

Durante este estudio, se obtuvieron resultados mediante el análisis de una muestra sintética en contacto con 20 g de carbón activado de coco.

Tabla 21

Resultados experimentales corregidos con 20g de carbón activado de coco

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Volumen de agua recuperada (mL)	Volumen de agua Perdida (mL)
71	20	5	95	5%	93.5	1.5
18	20	5	95	5%	93.5	1.5
48	20	5	95	5%	94.5	0.5
50	20	5	95	5%	94.5	0.5
16	20	10	90	10%	88	2
28	20	10	90	10%	88	2
32	20	10	90	10%	88	2
42	20	15	85	15%	83	2
44	20	15	85	15%	83	2
55	20	15	85	15%	83.5	1.5
61	20	25	75	25%	72.5	2.5
65	20	25	75	25%	72	3
67	20	25	75	25%	72	3

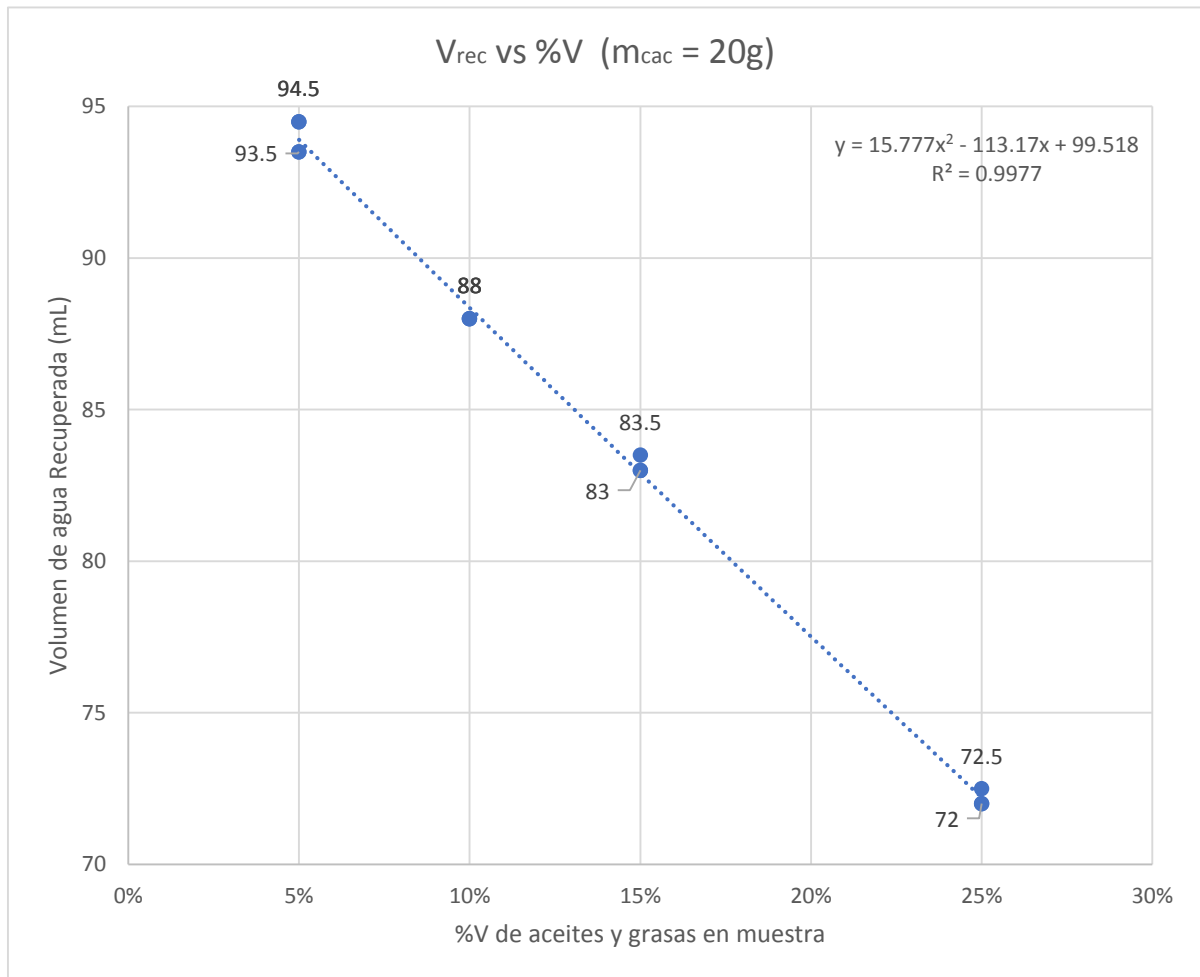
Fuente: Elaboración Propia.

En el análisis de los resultados experimentales mostrados en la tabla 21, se evaluaron muestras sintéticas que estuvieron en contacto con 20 g de carbón activado de coco. Durante el desarrollo del experimento, se realizaron mediciones y se registraron los volúmenes de aceite y agua presentes en cada muestra.

Al examinar la relación entre el porcentaje en volumen de muestra y el volumen de agua recuperada expresada con la curva de la figura 32, se observó que a medida que aumentaba el porcentaje en volumen de muestra, disminuía el volumen de agua recuperada. Esto sugiere que, a mayores concentraciones de aceite en las muestras, se lograba recuperar menos agua durante el proceso de adsorción con el carbón activado de coco. A continuación, se presenta la figura que muestra la relación inversa volumen de agua recuperada y la muestra sintética con aceites y grasas.

Figura 32

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua recuperada con $m=20\text{ g}$

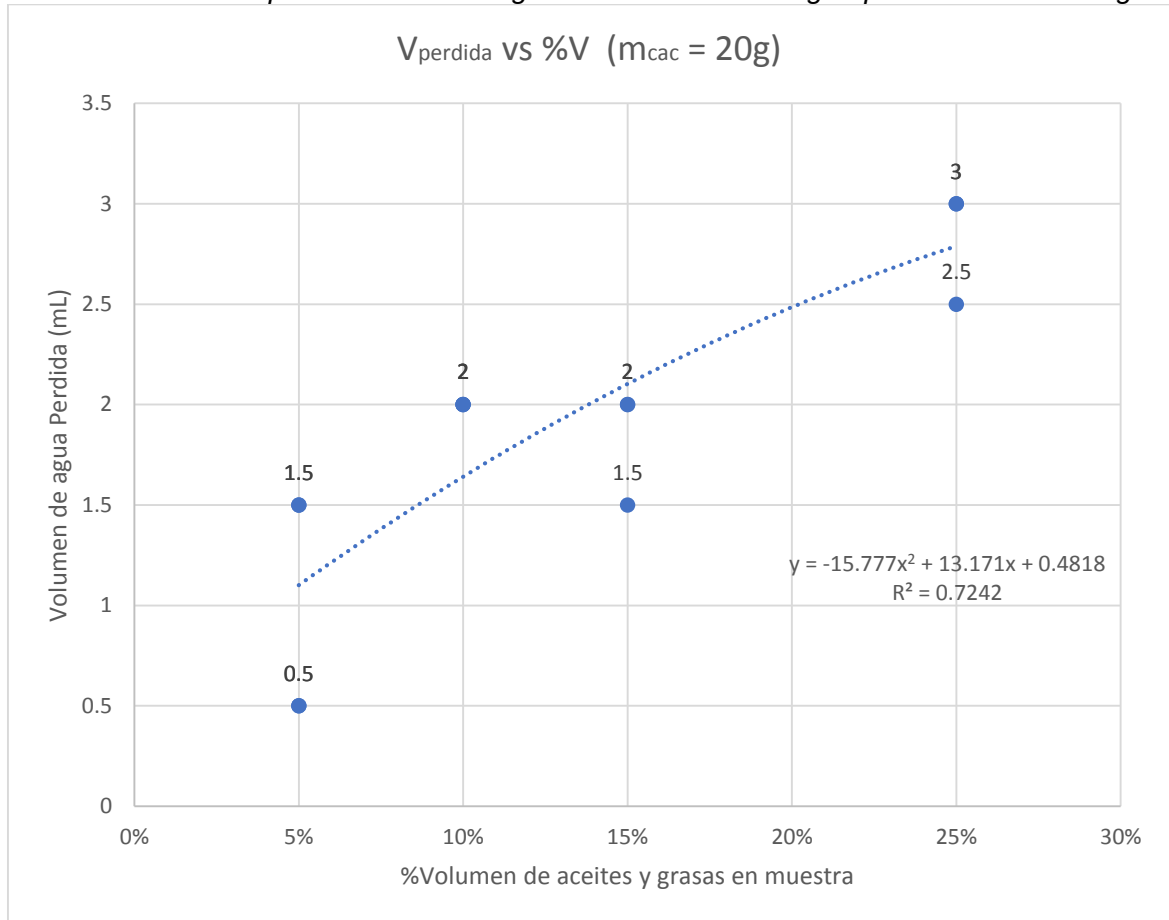


Fuente: Elaboración Propia.

Del mismo modo, al analizar la relación entre el porcentaje en volumen de muestra y el volumen de agua perdida como se muestra gráficamente en la figura 33, se encontró que los valores de volumen de agua perdida se mantenían consistentes y bajos en todas las pruebas teniendo una relación directa entre las mismas.

Figura 33

Curva resultados experimentales corregidos de volumen de agua perdida con $m = 20\text{ g}$



Fuente: Elaboración Propia.

En resumen, los resultados experimentales mostraron una relación directa entre el porcentaje en volumen de aceites y grasas de la muestra sintética, el volumen de agua recuperada y el volumen de agua perdida. Esto respalda la efectividad $85.08\% \pm 8.4\%$ del carbón activado de coco para tratar las muestras sintéticas.

4.2.3 Contrastación del uso de bencina

La Tabla 22 muestra los resultados de la proporción de resultados al usar bencina y hexano para hallar la concentración de aceites y grasas en las muestras sintéticas.

Tabla 22

Resultados experimentales contrastación de los solventes bencina y hexano

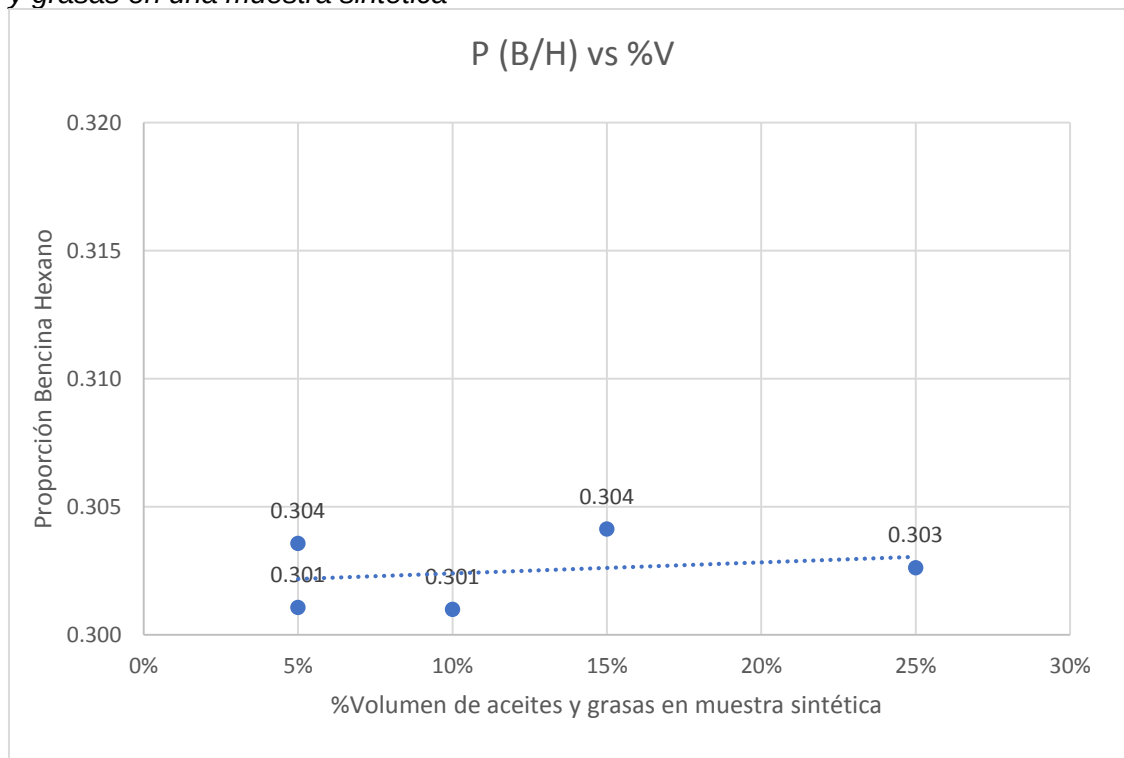
Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Solvente	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Concentración * 10 ³ (mg/L)	proporción de resultados
15	5	95	5%	BENCINA	156.801	156.941	1.3950	0.301
15	5	95	5%	HEXANO	115.547	115.589	0.4200	
25	5	95	5%	BENCINA	112.188	112.210	0.2240	0.304
25	5	95	5%	HEXANO	156.814	156.821	0.0680	
10	10	90	10%	BENCINA	200.675	200.974	2.9900	0.301
10	10	90	10%	HEXANO	130.102	130.192	0.9000	
5	15	85	15%	BENCINA	108.846	109.378	5.3200	0.304
5	15	85	15%	HEXANO	156.814	156.976	1.6180	
5	25	75	25%	BENCINA	119.238	119.314	0.7600	0.303
5	25	75	25%	HEXANO	112.203	112.226	0.2300	

Fuente: Elaboración Propia.

Se observó que la proporción de resultados entre el uso de los solventes siempre tiende al mismo valor como se ve en la figura 34, con el cual contrastamos que la bencina da resultados confiables y seguros para llevar a cabo el análisis de concentración de aceites y grasas en las muestras sintéticas utilizadas en el estudio.

Figura 34

Curva resultados experimentales de uso de bencina y hexano para la medición de aceites y grasas en una muestra sintética



Fuente: Elaboración Propia.

Con los resultados obtenidos y graficados en la figura 34, podemos realizar las pruebas gravimétricas líquido-líquido con bencina para saber la concentración de aceites y grasas bajo nuestro proceso experimental.

4.2.4 Discusión de resultados de la concentración de aceites y grasas mediante el método gravimétrico líquido-líquido

Los resultados que se presentan en este análisis provienen específicamente de dos tablas, la tabla 23 y la tabla 24, que forman parte de los datos recopilados durante la investigación. Estos datos fueron obtenidos después de realizar el proceso experimental descrito en la sección 3.4, donde se empleó un solvente para extraer los componentes de grasa y aceite presentes en el agua.

4.2.4.1 Resultados de las concentraciones de la muestra sintética (Co)

A continuación, la tabla 23 muestra los resultados obtenidos para las muestras sintéticas, se realizó una determinación gravimétrica al recuperar el solvente mediante un equipo de destilación.

Tabla 23

Resultados experimentales determinación de las concentraciones de las muestras sintéticas

Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Concentración 10 ³ (mg/L)	Promedio
a	5	95	5%	183.2821	200.5081	172.26	142.90
a	5	95	5%	107.143	118.497	113.54	
a	10	90	10%	203.785	219.212	154.27	136.62
a	10	90	10%	108.846	120.742	118.96	
a	15	85	15%	201.491	218.384	168.93	140.30
a	15	85	15%	119.24	130.406	111.66	
a	25	75	25%	187.36	217.04	296.80	282.17
a	25	75	25%	112.103	138.856	267.53	

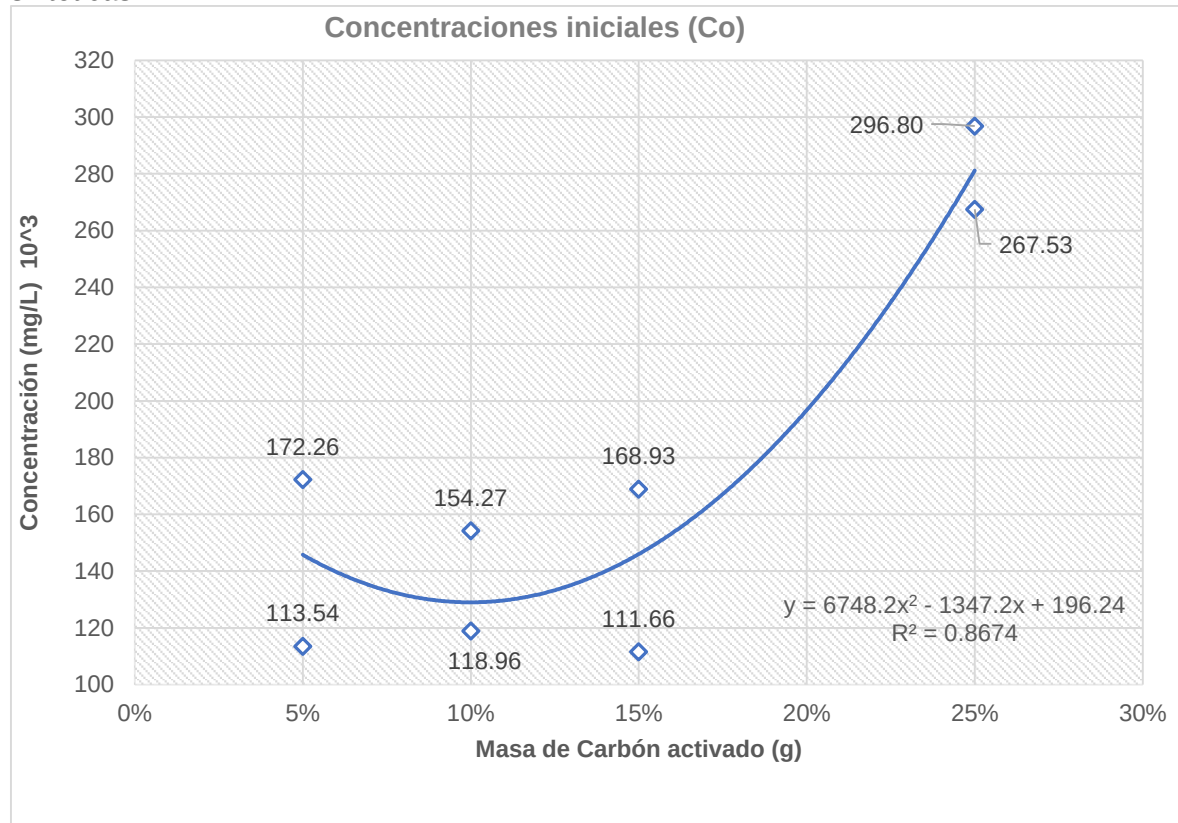
(a) significa que son las muestras sin agitación magnética

Fuente: Elaboración Propia.

Al analizar la relación entre el porcentaje en volumen de muestra y la concentración de aceites y grasas, se pudo observar una conexión inversa. A medida que aumentaba el porcentaje en volumen de aceites y grasas de la muestra sintética cómo se observa en la figura 35, la concentración de aceites y grasas tendía a aumentar.

Figura 35

Curva resultados experimentales Determinación de las concentraciones de las muestras sintéticas



Fuente: Elaboración Propia.

Estos hallazgos respaldan la eficiencia del carbón activado de coco en la remoción de aceites y grasas de muestras acuosas. Además, subrayan la importancia de considerar la relación entre el contenido de agua y la concentración de aceites y grasas al utilizar carbón activado de coco como adsorbente para la adsorción de aceites y grasas.

4.2.4.2 Resultados de las concentraciones de la adsorción del carbón activado (Cf)

La tabla 24 presenta los resultados experimentales de las muestras que varían en masa y porcentaje en volumen.

Tabla 24

Resultados experimentales de la determinación experimental de las concentraciones de aceites y grasas con el método gravimétrico líquido-líquido

Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Concentración * 10 ³ (mg/L)	Eficiencia
5	5	95	5%	119.234	119.617	3.83	97.8%
10	5	95	5%	130.102	130.366	2.64	98.5%
15	5	95	5%	156.801	157.015	2.14	98.8%
25	5	95	5%	112.1876	112.317	1.29	99.2%
5	10	90	10%	200.675	200.965	2.90	98.1%
10	10	90	10%	120.157	120.376	2.19	98.6%
15	10	90	10%	186.601	186.777	1.76	98.9%
25	10	90	10%	108.846	108.954	1.08	99.3%
5	15	85	15%	119.256	119.687	4.31	97.4%
10	15	85	15%	130.102	130.442	3.40	98.0%
15	15	85	15%	112.203	112.507	3.04	98.2%
25	15	85	15%	146.623	146.825	2.02	98.8%
5	25	75	25%	112.203	112.297	0.94	99.7%
10	25	75	25%	115.5477	115.6353	0.88	99.7%
15	25	75	25%	112.1953	112.2753	0.80	99.7%
25	25	75	25%	119.238	119.255	0.17	99.9%
Promedio							98.8% ± 0.8%

Fuente: Elaboración Propia.

En este análisis que proviene de la Tabla 24, el porcentaje en volumen de muestra y la masa de carbón activado de coco jugaron un papel crucial en el estudio de la eficiencia del carbón activado en la adsorción de aceites y grasas en las muestras sintéticas siendo de 98.8% ± 0.8%.

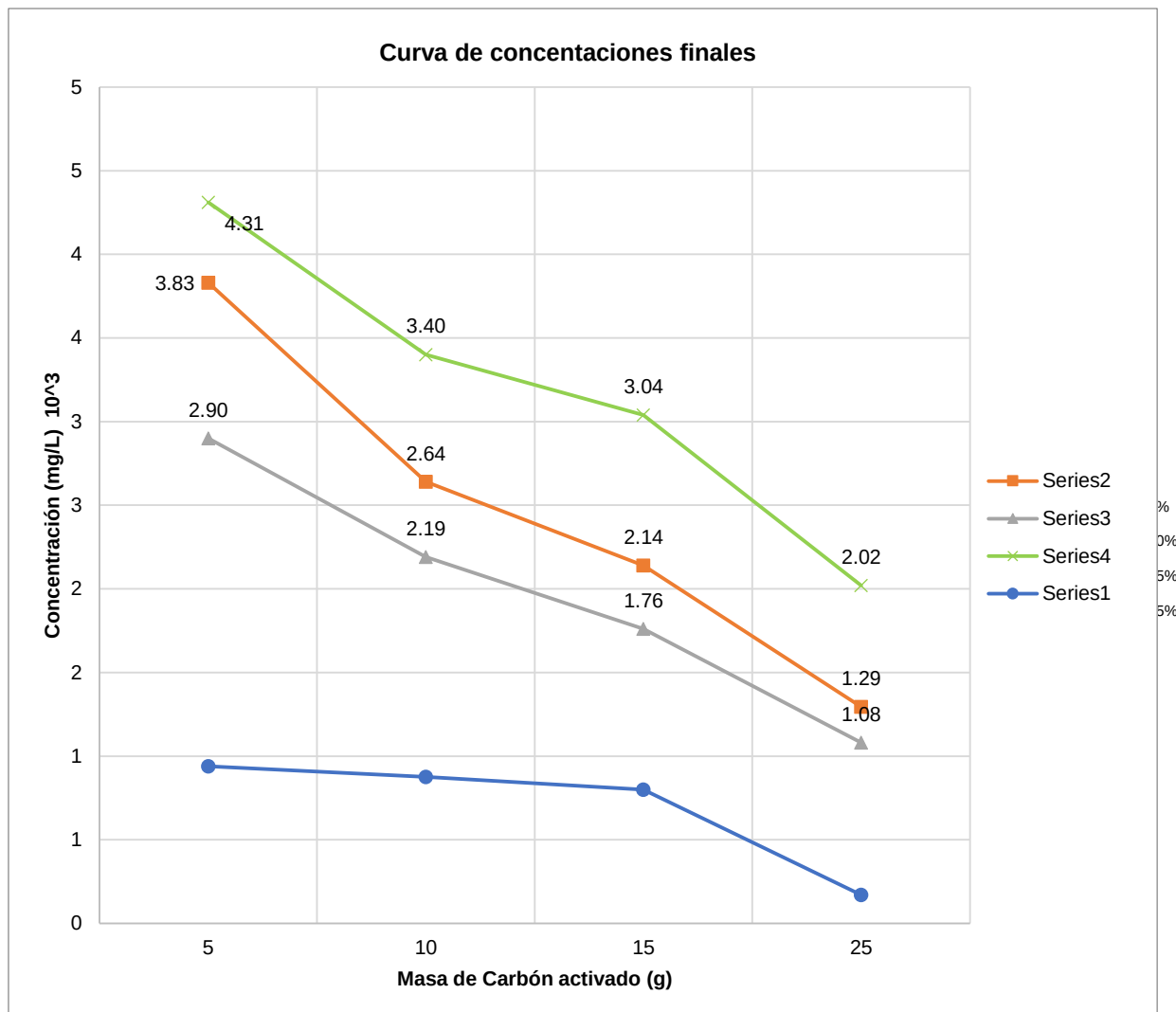
Al observar la interrelación entre el porcentaje en volumen de muestra y la concentración de aceites y grasas, se pudo establecer una relación inversa. A medida que aumentaba el porcentaje en volumen de muestra, la concentración de aceites y grasas en la muestra disminuía. Esto sugiere que el carbón activado de coco fue altamente eficiente en la remoción de los contaminantes oleosos en las muestras más diluidas.

Por otro lado, la masa de carbón activado de coco también tuvo un impacto en la concentración de aceites y grasas en las muestras. Se encontró que a medida que se aumentaba la cantidad de carbón activado utilizado en cada prueba, la concentración de aceites y grasas se reducía. Esto indica que una mayor cantidad de carbón activado aumentaba la capacidad de adsorción y, por lo tanto, se obtenía una menor concentración de aceites y grasas.

En la figura 36 se muestra, las curvas que representan las concentraciones finales luego del procedimiento experimental líquido-líquido, es decir, la curva verde representa los resultados experimentales con muestras que contienen 15% en volumen de aceites y grasas, la curva naranja las muestras que contienen 5% en volumen de aceites y grasas la ploma las que tienen 10% y finalmente la curva azul la que tienen 25%.

Figura 36

Curva resultados experimentales determinación de las concentraciones de las muestras sintéticas



Fuente: Elaboración Propia.

La interrelación entre el porcentaje en volumen de muestra y la masa de carbón activado de coco también es relevante. A medida que aumentaba el porcentaje en volumen de muestra, la cantidad de carbón activado necesario para lograr una eficiente remoción de aceites y grasas también aumentaba. Esto sugiere que las muestras más diluidas requerían una mayor cantidad de adsorbente para alcanzar los mismos niveles de adsorción que en las muestras más concentradas.

En resumen, el análisis demostró que tanto el porcentaje en volumen de muestra como la masa de carbón activado de coco desempeñaron un papel importante en la eficiencia del proceso de adsorción de aceites y grasas. La relación inversa entre el

porcentaje de agua en las muestras y la concentración de contaminantes, así como la relación directa entre la masa de carbón activado utilizado y la concentración de aceites y grasas, brindan información esencial para comprender y optimizar la aplicación del carbón activado en la adsorción de muestras acuosas.

4.2.5 Adsorción de aceites y grasas del carbón activado comercial

En la tabla 25 se muestran resultados mediante el análisis de una muestra sintética que se puso en contacto con de carbón activado de coco comercial.

Tabla 25
Resultados experimentales del carbón comercial

N° Prueba	Masa de carbón activado de coco (g)	Volumen de aceite (mL)	Volumen de agua (mL)	%En Volumen de muestra	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Concentración * 10 ³ (mg/L)	Eficiencia
1	5	5	95	5%	112.1876	112.317	1.29	99.2%
2	10	10	90	10%	115.5477	115.708	1.60	99.1%
3	15	15	85	15%	119.256	119.377	1.21	99.3%
4	25	25	75	25%	115.5477	115.6353	0.88	99.7%
5	5	5	95	5%	119.234	119.417	1.83	98.9%
6	10	10	90	10%	108.846	108.984	1.38	99.1%
7	15	15	85	15%	146.623	146.746	1.23	99.3%
8	25	25	75	25%	112.1953	112.245	0.50	99.8%
Promedio								99.3%±0.3%

Fuente: Elaboración Propia.

Al observar estos valores, se puede notar que no hay una tendencia clara de la eficiencia en función de la masa de carbón activado de coco. La eficiencia varía ligeramente de una prueba a otra, pero no sigue una tendencia ascendente o descendente evidente a medida que la masa de carbón aumenta.

La eficiencia promedio obtenida de todas las pruebas es del 99.3% ± 0.3%. Esto indica que, en general, el carbón activado de coco muestra una alta eficiencia en la adsorción de aceites en todas las pruebas realizadas, independientemente de la masa utilizada.

Conclusiones

Las conclusiones encontradas en el presente estudio de mencionan a continuación:

- Se observó el cumplimiento de la hipótesis general donde se mencionó que el carbón activado elaborado a partir de la cascara de coco produce una eficiencia mayor al 60% siendo en promedio de 81% de remoción de aceites y grasas provenientes de un carrito que vende comida rápida.
- Se pudo observar una tendencia directa en la relación entre la masa de carbón activado y el volumen de agua recuperada. A medida que aumentaba la masa de carbón activado, el volumen de agua recuperada tendía a ser mayor.
- Se observó una relación inversa entre la masa de carbón activado y el volumen de agua perdida, se encontró que, en general, a medida que aumentaba la masa de carbón, el volumen de agua perdida tendía a disminuir en el proceso de adsorción por contacto entre el carbón activado y los aceites y grasas de una muestra sintética.
- La eficiencia de adsorción del aceite varió según la masa de carbón activado de coco utilizado en cada prueba. Sin embargo, en todas las pruebas, la eficiencia no varió significativamente siendo en promedio la desviación estándar $\pm 1.61\%$ lo que sugirió que el proceso experimental fue efectivo para adherir una cantidad similar de aceites y grasas. Teniendo como resultado para los volúmenes de 5, 10, 15 y 25 % una eficiencia promedio de $92.9 \pm 1.0\%$, $86.5 \pm 1.4\%$, $81.2 \pm 1.1\%$, $70.1 \pm 1.6\%$ respectivamente.
- La mayor eficiencia de $94.5 \pm 1.0\%$ en la recuperación de agua sucedió en la prueba donde se agregó 20 g de carbón activado de coco a una muestra al cinco por ciento en volumen de aceites y grasas en una muestra sintética.
- La determinación experimental de las concentraciones de aceites y grasas con el método gravimétrico líquido-líquido, se demostró que la cáscara de coco tiene en

promedio una eficiencia de remoción de $98.8 \pm 0.8\%$, siendo los resultado más eficientes al experimentar con 25 g de carbón activado de coco.

- Se demostró que el incremento de la masa de carbón activado de cáscara de coco y la eficiencia tienen una relación directa, es decir a mayor masa suministrado incrementó la eficiencia de adsorción de aceites y grasas de una muestra sintética.
- Se observa una relación inversa entre volumen de aceites y grasas y la eficiencia de adsorción respectiva: un incremento el porcentaje en volumen de aceites y grasas de la muestra sintética disminuye la eficiencia de adsorción de aceites y grasas de una muestra sintética.
- El carbón activado comercial demostró una alta eficiencia promedio del $99.3\% \pm 0.3\%$ en la adsorción de aceites en todas las pruebas realizadas, independientemente de la masa utilizada. Esta consistencia en la eficiencia sugiere que el carbón activado comercial utilizado posee propiedades adsorbentes efectivas comparables a las eficiencias típicas observadas en el carbón activado de coco producido mediante pirólisis. Estos resultados respaldan la efectividad y competitividad del carbón activado de coco como un material adsorbente para aceites y grasas.

Recomendaciones

- En el proceso de calcinación tener una adecuada ventilación con extractores o ventiladores ya que el ácido fosfórico usado como agente activante, produce vapores intensos.
- Se recomienda que los agitadores magnéticos a usarse sean de la misma capacidad y rango para evitar diferenciación en los resultados.
- Se recomienda usar pipetas independientes en cada medición de muestra pues cuando el porcentaje en volumen de aceite va creciendo, la dificultad de pipeteo se incrementa, en ese sentido para facilitar el trabajo de pipeteo inclinar cuarenta y cinco grados en busca de un tirante de agua ayudará a la medición.
- La agitación magnética a medida se dificulta cuando se tiene más aceites en la muestra a analizar, por lo que una agitación vigorosa manual es conveniente para romper la inercia que se produce por la viscosidad de los aceites y grasas.
- Se recomienda usar otro material lignocelulósico para evaluar su eficiencia de adsorción de aceites y grasas.
- Se recomienda usar agentes activantes con concentraciones mayores al 60% para comprobar si la eficacia se incrementa al aumentar la concentración del activante.

Referencias bibliográficas

- Alshamri, A., Aljeboree, A., Alqaragully, M., & Alkaim, A. (2021). Removal of toxic textile dyes from aqueous solution through adsorption onto coconut husk waste: Thermodynamic and isotherm studies. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 513-522. doi:<https://doi.org/10.22124/cjes.2021.4937>
- Baley, A. E. (1984). *Aceites y Grasas Industriales* (Second Edition ed.). Barcelona, España: Reverté S.A. Obtenido de <https://books.google.fr/books?id=xFjGDCmLuKQC&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Bobadilla, N., & Leon, M. (2022). *Remoción de Plomo (PB) utilizando biofiltro con carbón activado de la cáscara de coco en el Rio Moche-Otuzco 2022*. Chimbote: Universidad César Vallejo.
- Bravo, K., & Garzon, A. (2017). *Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (cocos nicifera) para remoción de contaminantes en agua*. Calceta: Escuela superior Politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/606>
- Burgos, G. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, Provincia del Guayas*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Facultad Ciencias Químicas. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8941>
- Chávez-Sifones, M., & Domine, M. (2013). lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323629266003.pdf>
- Condor, J., & Maza, D. (2020). *Remoción de plomo para mejorar el agua de Mórrope utilizando carbón activado del endocarpio de aceituna y cáscara de coco*. Chiclayo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50262>

- Contreras, J., Fuenmayor, H., Colina, M., Díaz, A., Fernández, N., Pérez de Scott, M. J., & Colina, G. (2008). Capacidad adsorptiva del carbón activado preparado a partir del bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de fenol, 2-clorofenol, 2-nitrafenol y 2,4-dimetilfenol. *Scientifk Jourd of the Experimental Facuity of Sciences, at the Universidad del Zulia*, 16, 111-121. Obtenido de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/view/9835/9822>
- El-Naggar, A., Lee, S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., . . . Yong Sik, O. (2019). Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Elsevier*, 536-554. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>
- Gutierrez, X., & Zapata, J. (2011). *Evaluación de la aplicación de diversos solventes en la obtención del aceite de semilla de coroba (Attalea macrolepis)*. Barcelona: Universidad de Oriente. Obtenido de <http://ri2.bib.udo.edu.ve:8080/jspui/handle/123456789/4442>
- James, A., & Yadav, D. (2021). Valorization of coconut waste for facile treatment of contaminated water: A comprehensive review (2010–2021). *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102075>
- Jiménez, J. (2014). *Aprovechamiento de residuos celulósicos de piña para la producción de carbón activado*. Xalapa: Universidad Veracruzana, Facultad de ciencias químicas.
- Lewoyehu, M. (2021). Comprehensive review on synthesis and application of activated carbon from agricultural residues for the remediation of venomous pollutants in wastewater. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105279>
- Lizano, M. (2005). *Guía Técnica del cultivo de coco*. San Salvador, El Salvador: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Obtenido de <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7370>
- Luna, D., González, A., Gordon, M., & Martín, N. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *ContactoS*, 39-48. Obtenido de http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n64ne/carbon_v2.pdf

- Manocha, S. (2003). Porous carbons. *Sadhana*, 335-348.
doi:<https://doi.org/10.1007/BF02717142>
- Martínez de Yuso, A. (2012). *Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano*. Villanueva de Gállego: CSIC - Instituto de Carboquímica (ICB) Universidad San Jorge. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/74991>
- Menéndez, J. Á. (2008). *Residuos de biomasa para la producción de carbones activos y otros materiales de interés tecnológico*. Facultad de Geología. Asturias: Universidad de Oviedo.
- Metcalf&Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización* (Vol. 2). Madrid, España: McGraw-Hill.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2021). *Anuario de Producción agrícola*. Ministerio de Agricultura y Riego, Lima. Recuperado el 18 de Octubre de 2023, de <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-anuales/4-agricola>
- Niño, I., & Ramírez, D. (2008). *Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones*. Bogotá: Universidad de La Salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/583
- Oña, R. (2017). *Obtención de carbón activado a partir de bagazo de caña de azúcar de IABSA en el departamento de Tarija*. Tarija: Universidad autónoma Juan Misael Saracho. Obtenido de <https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/view/246>
- Reinoso, F. (2005). Carbon activado: estructura, preparación y aplicaciones. *Uniandes*, 66-69. Obtenido de http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n64ne/carbon_v2.pdf
- Restrepo, J. (2008). Disolventes Alternativos. *Inpra Latina*, 16-19.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. (C. Salazar, & C. Jorge, Edits.) Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Rondón, A., Castillo, L., & Miranda, J. (2020). Uso de la cáscara de coco (Cocos nucífera) como medio filtrante en el tratamiento del agua del campo El Salto, Venezuela. *Ingeniería y Desarrollo*, 127-147. doi:<https://doi.org/10.14482/inde.38.1.628.16>
- Sanchez, M., & Yagkug, K. (2020). *Eficacia de un destilador solar en el tratamiento de aguas residuales de la provincia de Trujillo*. Trujillo: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/24119>
- Shackley, S., Sohi, S., Ibarrola, R., Hammond, J., Masek, O., Brownsort, P., . . . Haszeldine, S. (2012). *Biochar Tool for Climate Change Mitigation and Soil Management*. University of Edinburgh. Edimburgo: UK Biochar Research Centre. Obtenido de https://www.academia.edu/11136714/Biochar_Tool_for_Climate_Change_Mitigation_and_Soil_Management
- Shreya, Kumar, A., Kishore, A., Bhunia, P., & Roshan, R. (2021). Removal of surfactants in greywater using low-cost natural adsorbents: A review. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101532>
- Simate, G. S., Maledi, N., Ochieng, A., Ndlovu, S., Zhang, J., & Walubita, L. F. (2016). Coal-based adsorbents for water and wastewater treatment. *Elsevier*, 2291-2312. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.051>
- Sricharoenchaikul, V., Pechyen, C., Aht-ong, D., & Atong, D. (2012). Preparation and Characterization of Activated Carbon from the Pyrolysis of Physic Nut (Jatropha curcas L.) Waste. *BANGLADESH JOURNAL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH*, 257-264. doi:<https://doi.org/10.1021/ef700285u>
- Stavi, I. (2013). Biochar use in forestry and tree-based agro-ecosystems for increasing climate change mitigation and adaptation. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. doi:<https://doi.org/10.1080/13504509.2013.773466>
- Sultana, S., Islam, K., Hasan, A., Jawad, H., Khan, M., Deb, A., . . . Rahman, W. (2022). Adsorption of crystal violet dye by coconut husk powder: Isotherm, kinetics and thermodynamics perspectives. *Elsevier*, 17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100651>

- Tokay, B., & Akpınar, I. (2021). A comparative study of heavy metals removal using agricultural waste biosorbents. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100719>
- Verma, R., Maji, P., & Sarkar, S. (2021). Comprehensive investigation of the mechanism for Cr(VI) removal from contaminated water using coconut husk as a biosorbent. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128117>
- Viswanathan, B., Indra Neel, P., & Varadarajan, T. (2009). *Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Materials*. Chennai, India: National Centre for Catalysis Research.
- Weber, K., & Quicker, P. (2018). Properties of biochar. *Elsevier*, 240-261. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.054>

Anexos

Anexo A.1.: Preparación del carbón activado de coco	95
Anexo A.2.: Determinación de la capacidad de Adsorción de aceites y grasas.....	98
Anexo A.3.: Ficha técnica del Carbón activado Comercial	101

A.1. Preparación del carbón activado de coco

Limpieza y triturado



Cáscara de coco



Triturado en molino manual

Homogenización de tamaño de partícula

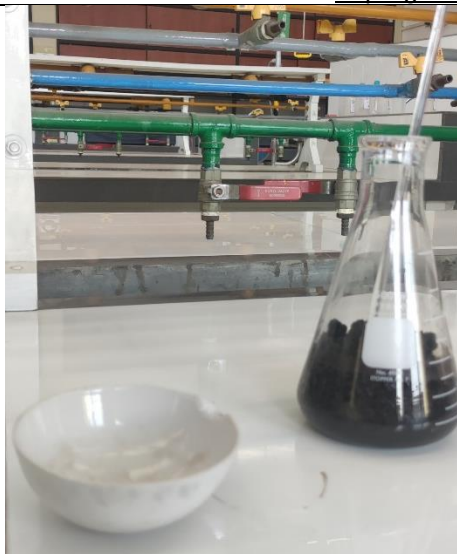


Especificaciones técnicas de malla



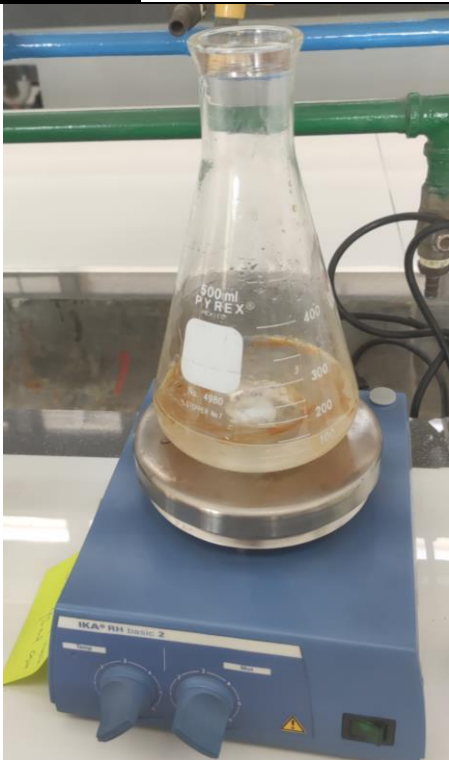
Tamizado en malla N° 4 (ASTM E-11 Standard)

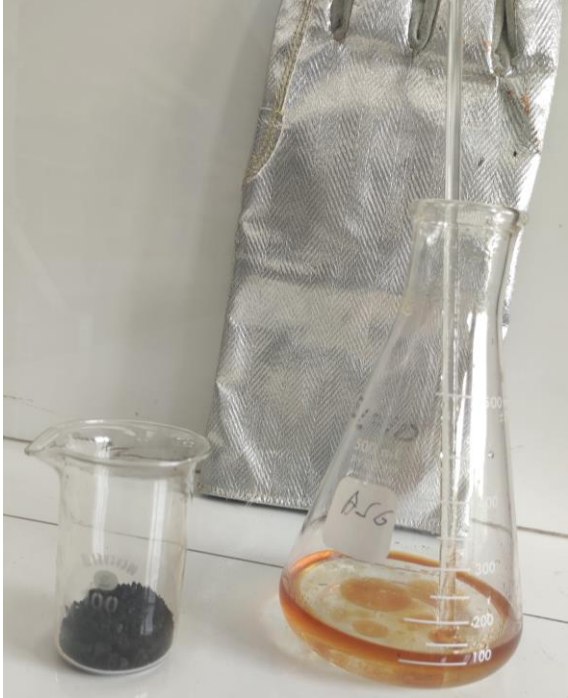
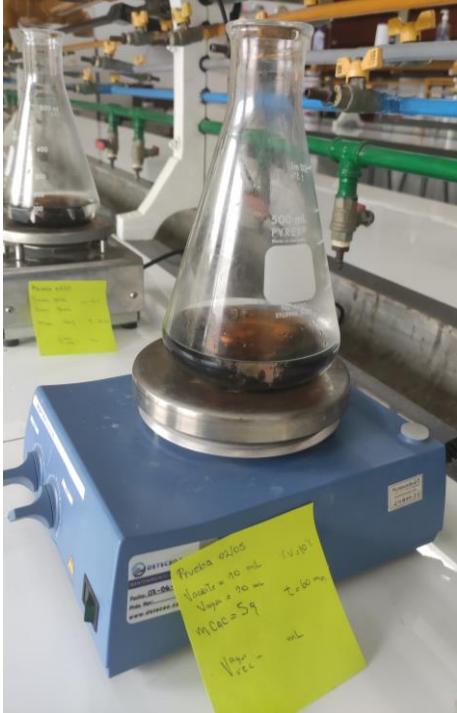
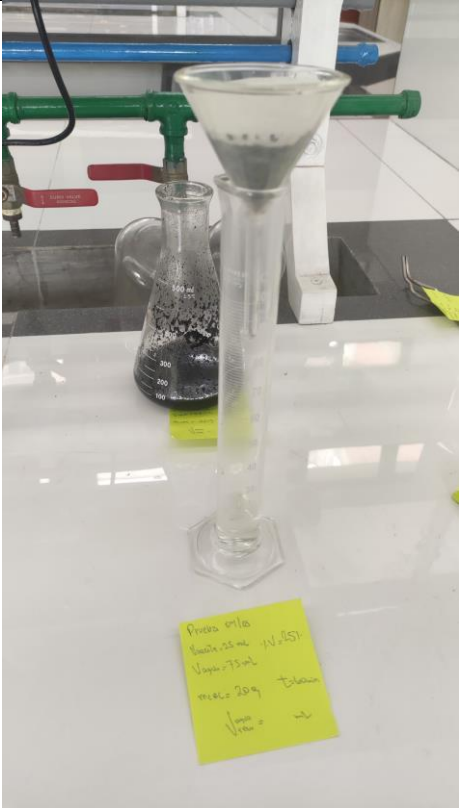
Impregnación química de residuos

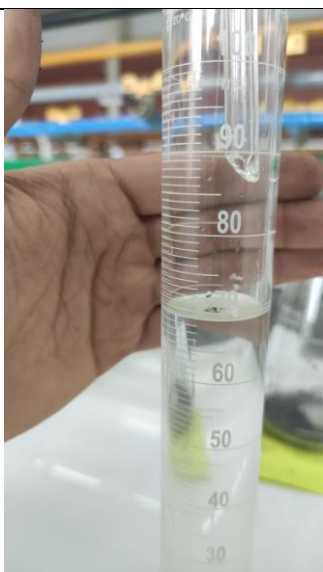
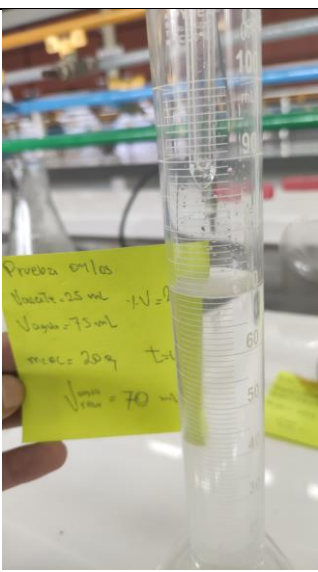


Matraz con cáscara de coco y ácido fosfórico	Pesado de material impregnado luego de 24
Activación pirolítica de los residuos de coco	
	
Producción de vacío en mufla	Cápsula con carbón activado coco

A.2. Determinación de la capacidad de adsorción de aceites y grasas

Preparación de la muestra sintética	
	
Medición del volumen de aceite en un vaso precipitado, Medición del volumen de agua destilada a utilizar	Vertimiento del solvente y soluto a un matraz Erlenmeyer
Pesado del carbón activado de coco	
	

Materiales usados para el pesado de carbón activado	Pesado en matraz Erlenmeyer
Proceso de agitación mecánica para adsorción	
	
carbón activado y muestra sintética a poner en contacto	Agitador magnético y con la muestra a agitar
Proceso de filtrado	
	
Acondicionamiento de probeta, embudo y papel filtro	Carbón activado sólido retenido en el papel
Medición del volumen recuperado	

	
Contraste visual del volumen recuperado	Rotulado de la información obtenida

A.3. Ficha técnica del Carbón activado Comercial



FICHA TÉCNICA NÚMERO/ÚLTIMA REVISIÓN: 700/210518
CERTIFICACIÓN ISO 9001:2015 N° CA-1.092. LABORATORIO AUTORIZADO N° 046/ GA/ SA680A

PRODUCTO

CARBÓN ACTIVADO

DESCRIPCIÓN

Material de filtración con microporos (<2 nm), mesoporos (2-50 nm) y macroporos (>50 nm) susceptibles de retener macromoléculas, colorantes y coloides, actuando como **adsorbente universal**. Potente complemento de filtración para la eliminación de proteínas, colorantes, olores y otros contaminantes, tanto de medios líquidos como gaseosos. Especialmente indicado en la **eliminación de compuestos apolares y de alto volumen molecular** (hidrocarburos, fenoles, polipéptidos, etc.).

INGREDIENTES

Carbón activado inerte de origen mineral.

DESTINO Y MODO DE EMPLEO

En la eliminación de contaminantes presentes en soluciones acuosas (agua dulce, salobre o salada) o gases: añadir en torres de filtración, filtros físico-biológicos, filtros de arena o filtros de cartucho.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Densidad aparente 470 kg/m³. Humedad al envasar máx. 3 %. Superficie interna de adsorción BET: 1000 m²/g. Cenizas: máx. 5%.

PRESENTACIÓN

ACU-GMI P4; pellets de 3 mm (Ø) en sacos kraft de 25 Kg.

ACU-GCO 70; polvo con diámetro medio de partícula de 70 µm en sacos kraft de 25 Kg.