



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE ADSORCIÓN ÓPTIMO PARA LA
REMOCIÓN DEL IBUPROFENO EN AGUAS RESIDUALES FARMACÉUTICAS**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieras Ambientales

AUTORAS:

ANA MARCELA HERRERA SALAZAR

DANIELLA CAROLINA SARZOSA TIPANLUISA

TUTOR: RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO

Quito - Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotras, Ana Marcela Herrera Salazar con documento de identificación No. 0503347395 y Daniella Carolina Sarzosa Tipanluisa con documento de identificación No. 1720081023, manifestamos que:

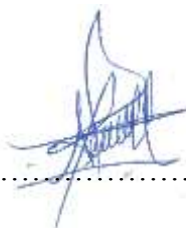
Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 23 de septiembre del 2022

Atentamente,



.....
Ana Marcela Herrera Salazar
0503347395



.....
Daniella Carolina Sarzosa Tipanluisa
1720081023

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotras, Ana Marcela Herrera Salazar con documento de identificación No. 0503347395 y Daniella Carolina Sarzosa Tipanluisa con documento de identificación No. 1720081023, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Determinación del tipo de sistema de adsorción óptimo para la remoción del ibuprofeno en aguas residuales farmacéuticas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieras Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

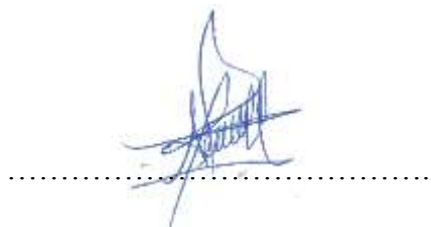
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de septiembre del 2022

Atentamente,



Ana Marcela Herrera Salazar
0503347395



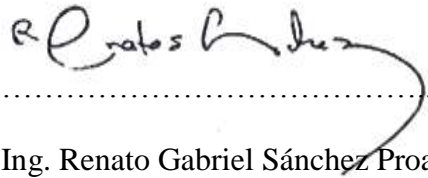
Daniella Carolina Sarzosa Tipanluisa
1720081023

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Renato Gabriel Sánchez Proaño con documento de identificación N° 1715542401, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE ADSORCIÓN ÓPTIMO PARA LA REMOCIÓN DEL IBUPROFENO EN AGUAS RESIDUALES FARMACÉUTICAS, realizado por Ana Marcela Herrera Salazar con documento de identificación N° 0503347395 y por Daniella Carolina Sarzosa Tipanluisa con documento de identificación N° 1720081023, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de septiembre del 2022

Atentamente,



.....

Ing. Renato Gabriel Sánchez Proaño, M.Sc.

1715542401

DEDICATORIA

Ana Herrera

Quiero dedicar este trabajo a:

*Mis amados abuelitos **Guillermo y Juanita** que a pesar de su ausencia física estuvieron guiándome junto a Dios para seguir adelante en cada uno de mis proyectos, sin duda llegué de la mano junto a ustedes.*

*Mi madre **Amparito** por apoyarme siempre, por tanto amor, amor que me dio la seguridad para seguir adelante, por su apoyo incondicional, por haberme formado con buenos sentimientos, por los valores impartidos de respeto, amistad, sinceridad, sencillez, responsabilidad que me ayudaron a enfrentar con determinación los obstáculos de la vida. Te amo madre*

A mi padre por ser ese amigo incondicional, que a pesar de no vivir cosas juntos estoy segura de que este regocijo es tan especial para él como lo es para mí.

*A mi hermana **Alondra** quien ha sido el más grande aliciente para cumplir mi objetivo, en ella tengo el espejo en el que me quiero reflejar pues su noble corazón, sus virtudes y espíritu de superación me inspiran a ser una mejor persona.*

*A **Guillermo**, el excepcional ser humano de quien recibí el apoyo moral y económico, persona que me ha ofrecido amor y calidez de hogar que solo un padre lo puede hacer.*

*A mi familia **Herrera Guayaquil** quienes, con sus consejos, con sus palabras de apoyo y confianza han contribuido a la consecución de este logro, esta alegría también es de ustedes”.*

Daniella Sarzosa

Quiero dedicar este trabajo a:

*Mis padres, **Mercedes y Antonio**, por ser mis pilares de vida, por tan incondicional apoyo en cada decisión y por tanto cariño y confianza que siempre supieron darme.*

*A **Gabriel**, por siempre estar, por siempre acudir, por siempre ayudar; por nunca dejarme a la deriva y apoyar cada idea mía sin dudar.*

*A mi hermanita menor, **Paula**, porque ella es para mí, mi más grande e importante responsabilidad.*

*A mi hermosa y adorada mascota, **Aslan**, el cual con su presencia y compañía en tantas agotadoras noches de desvelo, siempre me brindó la seguridad, la confianza y el cariño que necesité en los peores y mejores momentos de esta lucha continua.*

*Finalmente, a mis abuelitos, **Mercedes y José**, que me han cuidado y guiado mi camino desde allá arriba en el azul firmamento sin descanso.*

AGRADECIMIENTO

Nuestros agradecimientos plenos en primer lugar a Dios por iluminar nuestro camino hasta llegar a la culminación de nuestra querida carrera universitaria.

En segundo lugar, queremos destacar el apoyo incondicional de nuestros padres en cada paso para así llegar a donde estamos, así como también mencionar esta gran amistad que nos ha unido a ambas a lo largo de estos años recorridos para cerrar con broche de oro nuestra formación académica de tercer nivel con la realización de este tema de tesis.

Al Ing. Renato Sánchez nuestro querido tutor de tesis por su constante ayuda y preocupación con la misma.

A todas aquellas personas, colegas y amigos que nos supieron brindar información, apoyo y tiempo para el logro de nuestros objetivos.

Finalmente mencionar el apoyo por parte de quienes conforman la Universidad Politécnica Salesiana, que a pesar de los difíciles momentos por la pandemia supieron enfrentar sin descansó para continuar con nuestra preparación sin afectarnos tanto temporal como administrativamente.

Ana y Daniella

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema.....	1
1.2. Delimitación.....	3
1.3. Pregunta de investigación.....	3
1.4. Objetivo general y específicos	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1. Fármaco.....	5
2.1.1. Definición.	5
2.1.2. Clasificación farmacológica.....	5
2.1.2.1. Sistema nervioso central.....	5
2.1.2.2. Sistema renal y cardiovascular.	6
2.1.2.3. Sistema gastrointestinal.	6
2.1.2.4. Antiinfecciosos y órganos diana.....	7
2.2. Ibuprofeno	8
2.2.1. Definición	8
2.2.2. Propiedades farmacocinéticas.....	9
2.3. Carbón Activado	10
2.3.1. Definición	10
2.3.2. Propiedades que afectan la adsorción del carbón activado.....	11

2.3.3.	Tipos de carbón activado	13
2.3.3.1.	Carbón activado de coco.....	13
2.3.3.2.	Carbón activado zeolita	13
2.3.3.3.	Carbón activado de banano.....	14
2.4.	Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia	15
2.4.1.	Definición	15
2.5.	Agua residual.....	16
2.5.1.	Definición	16
2.5.2.	Tipos de agua residual	16
2.5.2.1.	Agua residual de origen farmacéutico	16
2.5.2.2.	Agua residual industrial.....	17
2.6.	Modelos matemáticos de adsorción	17
2.6.1.	Isoterma de adsorción de Langmuir.....	17
2.6.2.	Isoterma de adsorción de Freundlich	19
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1.	Reactivos.....	20
3.1.1.	Reactivos empleados para análisis de muestras.....	20
3.1.2.	Estándar analítico empleado en la investigación	20
3.2.	Materiales.....	20
3.2.1.	Material empleado para preparación de muestras.....	20
3.2.2.	Material empleado para dilución de estándar analítico.....	21
3.3.	Equipos empleados en la investigación.....	21
3.4.	Métodos.....	22

3.4.1.	Análisis de muestras	22
3.4.1.1.	Preparación de muestra inicial.....	22
3.4.1.2.	Preparación de muestras de agua en presencia de carbón activado.....	23
3.4.1.3.	Filtración de muestra	26
3.4.1.4.	Extracción del ibuprofeno de las muestras de agua residual.....	26
3.4.1.5.	Deshidratación y concentración fase orgánica	28
3.4.1.6.	Preparación de estándar analítico	29
3.4.1.7.	Desgasificación de muestras y estándar	30
3.4.1.8.	Condiciones cromatográficas para análisis en HPLC.....	31
3.4.1.9.	Interpretación de datos.....	31
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1.	Análisis en HPLC.....	33
4.1.1.	Ibuprofeno.....	33
4.1.1.1.	Concentración de ibuprofeno en muestra inicial.....	34
4.1.1.2.	Concentraciones de ibuprofeno en muestras con carbón activado de coco.....	34
4.1.1.3.	Concentraciones de ibuprofeno en muestras con carbón activado de banano.	35
4.1.1.4.	Concentraciones de ibuprofeno en muestras con carbón activado hazel.....	36
4.1.1.5.	Concentraciones de ibuprofeno en muestras con carbón activado zeolita.	37
4.2.	Isoterma de adsorción de Langmuir	39
4.2.1.	Carbón activado de coco.....	39
4.2.2.	Carbón activado de banano.....	40
4.2.3.	Carbón activado hazel.....	41
4.2.4.	Carbón activado zeolita.....	43

4.3.	Isoterma de adsorción de Freundlich	44
4.3.1.	Carbón activado de coco.....	44
4.3.2.	Carbón activado de banano.....	45
4.3.3.	Carbón activado hazel.....	46
4.3.4.	Carbón activado zeolita.....	47
4.4.	Análisis estadístico.....	49
4.4.1.	Carbón activado de coco.....	49
4.4.2.	Carbón activado de Banano	51
4.4.3.	Carbón activado de Hazel	52
4.4.4.	Carbón activado de Zeolita	53
4.5.	Diseño de filtro de carbón activado.....	56
4.5.1.	Cálculo de caudal óptimo.....	56
4.5.2.	Dimensionamiento de filtro de carbón activado	57
4.5.3.	Caso diseño experimental de filtro	57
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1.	Conclusiones	62
5.2.	Recomendaciones.....	63
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	64
7.	ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Subsectores en la industria manufacturera	2
Tabla 2	Clasificación según el sistema nervioso central.	5
Tabla 3	Clasificación según el sistema renal y cardiovascular.	6
Tabla 4	Clasificación según el sistema gastrointestinal.....	6
Tabla 5	Clasificación según de tipo antiinfecciosos y órganos diana	7
Tabla 6	Clasificación para quimioterapia.....	7
Tabla 7	Clasificación para sangre y hematopoyéticos	8
Tabla 8	Clasificación según el sistema endocrino	8
Tabla 9	Propiedades que afectan el proceso de adsorción del carbón activado	12
Tabla 10	Nivel de toxicidad de productos farmacéuticos	17
Tabla 11	Reactivos empleados para análisis de muestras.....	20
Tabla 12	Estándar empleado para análisis en HPLC	20
Tabla 13	Material empleado en la investigación	20
Tabla 14	Material empleado para dilución de estándar analítico.....	21
Tabla 15	Equipos empleados en la investigación	21
Tabla 16	Componentes que conforman el equipo HPLC	22
Tabla 17	Condiciones cromatográficas	31
Tabla 18	Datos para generar la curva de calibración del estándar ibuprofeno.....	33
Tabla 19	Resultado concentración de ibuprofeno en muestra inicial.....	34
Tabla 20	Resultados concentraciones de ibuprofeno con carbón activado de coco	34
Tabla 21	Resultados concentraciones de ibuprofeno con carbón activado de banano	35
Tabla 22	Resultados concentraciones de ibuprofeno con carbón activado hazel	36

Tabla 23	Resultados concentraciones de ibuprofeno con carbón activado zeolita.....	37
Tabla 24	Isoterma de Langmuir carbón activado de coco	39
Tabla 25	Isoterma de Langmuir carbón activado de banano	40
Tabla 26	Isoterma de Langmuir carbón activado hazel	41
Tabla 27	Isoterma de Langmuir carbón activado zeolita.....	43
Tabla 28	Isoterma de Freundlich carbón activado de coco.....	44
Tabla 29	Isoterma de Freundlich carbón activado de banano.....	45
Tabla 30	Isoterma de Freundlich carbón activado hazel	46
Tabla 31	Isoterma de Freundlich carbón activado zeolita	47
Tabla 32	Análisis de varianza del carbón activado de coco	49
Tabla 33	Prueba de Tukey carbón activado de coco	50
Tabla 34	Análisis de varianza del carbón activado de banano.....	51
Tabla 35	Prueba de Tukey carbón activado de Banano	51
Tabla 36	Análisis de varianza del activado de hazel	52
Tabla 37	Prueba de Tukey carbón activado de hazel.....	53
Tabla 38	Análisis de varianza del carbón activado de zeolita	53
Tabla 39	Prueba de Tukey carbón activado zeolita	54
Tabla 40	Análisis de varianza de un factor.....	54
Tabla 41	Análisis de varianza de resultados.....	55
Tabla 42	Características carbón activado zeolita para diseño de filtro de carbón activado	56
Tabla 43	Datos referentes al valor óptimo agua: carbón activado	56
Tabla 44	Tabla de tuberías para adsorción y desorción del agua residual	57
Tabla 45	Eficiencia del filtro de carbono por uso.....	59
Tabla 46	Tiempo de renovación de carbon activado por cada lavada.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Molécula de ibuprofeno	9
Figura 2	Estructura del carbón activado.....	11
Figura 3	Carbón activado de coco.....	13
Figura 4	Carbón activado zeolita	14
Figura 5	Carbón activado de banano.....	14
Figura 6	Componentes principales del HPLC	16
Figura 7	Equipo HPLC	22
Figura 8	Preparación de la muestra inicial	23
Figura 9	Carbón activado Hazel.....	23
Figura 10	Carbón activado de Banano	24
Figura 11	Carbón activado de Coco.....	24
Figura 12	Carbón activado Zeolita.....	25
Figura 13	Carbón activado en muestra de agua residual	25
Figura 14	Filtración de muestra	26
Figura 15	Extracción del ibuprofeno en muestra de agua filtrada	27
Figura 16	Fase orgánica y acuosa de la muestra	27
Figura 17	Filtración simple de la fase orgánica.....	28
Figura 18	Concentración fase orgánica	29
Figura 19	Preparación de estándar analítico.....	30
Figura 20	Desgasificación de muestras y estándar analítico	30
Figura 21	Hoja de cálculo para interpretación de resultados.....	32
Figura 22	Curva de calibración estándar ibuprofeno.....	33

Figura 23	Curva de adsorción carbón activado de coco	35
Figura 24	Curva de adsorción carbón activado de banano	36
Figura 25	Curva de adsorción carbón activado hazel	37
Figura 26	Curva de adsorción carbón activado zeolita.....	38
Figura 27	Isoterma de Langmuir carbón activado de coco.....	39
Figura 28	Isoterma de Langmuir carbón activado de banano	40
Figura 29	Isoterma de Langmuir carbón activado hazel	42
Figura 30	Isoterma de Langmuir carbón activado zeolita	43
Figura 31	Isoterma de Freundlich carbón activado de coco	45
Figura 32	Isoterma de Freundlich carbón activado de banano	46
Figura 33	Isoterma de Freundlich carbón activado hazel	47
Figura 34	Isoterma de Freundlich carbón activado zeolita.....	48
Figura 35	Funcionamiento por tubería de adsorción	57
Figura 36	Funcionamiento por tubería de desorción	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Modelo de Langmuir.....	17
Ecuación 2 Forma lineal de la ecuación de Langmuir	18
Ecuación 3 Factor de separación o equilibrio	18
Ecuación 4 Modelo de Freundlich	19
Ecuación 5 Dilución de soluciones concentradas	29
Ecuación 6 Curva de calibración estándar ibuprofeno.....	34
Ecuación 7 Caudal óptimo	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Resumen de los resultados de las concentraciones de ibuprofeno para cada tipo de carbón activado.	69
Anexo 2 Resumen de los resultados del modelo de adsorción de Langmuir.	70
Anexo 3 Resumen de los resultados del modelo de adsorción de Freundlich.	70

RESUMEN

El sector farmacéutico es uno de los principales sectores que contribuyen al crecimiento económico de un país, con el incremento acelerado de la población a nivel mundial en los últimos años, el consumo de fármacos se ha convertido en una actividad cada vez más habitual entre la población. El presente trabajo de investigación tiene como finalidad determinar el tipo de sistema de adsorción óptimo para la remoción del ibuprofeno en una muestra de agua residual fabricada. Para el análisis de las muestras a nivel de laboratorio se procedió a colocar cuatro tipos de carbón activado comerciales que fueron de coco, banano, hazel y zeolita, en cantidades de 0.5, 1, 5 y 10 gramos para cada uno, en 1000 mL de agua residual fabricada respectivamente.

Para el análisis en HPLC se empleó como fase móvil en relación 65:35 ACN:agua, con un tiempo de corrida de 10 a 15 minutos, y una columna cromatográfica C18. Como resultados de la investigación se obtuvo que: el carbón activado de coco y banano se ajustó correctamente al modelo de adsorción de Langmuir con un R^2 de 0.9274 y 0.8717 respectivamente, todo lo contrario, para el carbón activado hazel y zeolita con un R^2 de 0.5575 y 0.1083 respectivamente. Para el modelo de adsorción de Freundlich el carbón activado de coco y banano se ajustó correctamente con un R^2 de 0.9649 y 0.913 respectivamente, para el carbón activado de hazel y zeolita el modelo no se ajustó correctamente con un R^2 de 0.3375 y 0.1309 respectivamente.

Con respecto a la eliminación de ibuprofeno, el mayor porcentaje de eliminación determinado fue de 62.47 % con una concentración final de 0.5541 ppm, con 10 gramos de carbón activado zeolita y el menor porcentaje determinado fue de 3.33 % con una concentración final de 1.4274 ppm, con 0.5 gramos de carbón activado hazel.

Palabras clave: ibuprofeno, carbón activado, HPLC

ABSTRACT

The pharmaceutical sector is one of the main sectors that contribute to the economic growth of a country, with the accelerated increase in the population worldwide in recent years, the consumption of drugs has become an increasingly common activity among the population. The purpose of this research work is to determine the type of optimal adsorption system for the removal of ibuprofen in a sample of manufactured wastewater. For the analysis of the samples at the laboratory level, four types of commercial activated carbon were placed, which were coconut, banana, hazel and zeolite, in quantities of 0.5, 1, 5 and 10 grams for each one, in 1000 mL of manufactured wastewater respectively.

For the HPLC analysis, the mobile phase was used in a 65:35 ACN:water ratio, with a run time of 10 to 15 minutes, and a C18 chromatographic column. As results of the investigation, it was obtained that: the activated carbon of coconut and banana was correctly adjusted to the Langmuir adsorption model with an R^2 of 0.9274 and 0.8717 respectively, quite the opposite, for the activated carbon hazel and zeolite with an R^2 of 0.5575 and 0.1083 respectively. For the Freundlich adsorption model, coconut and banana activated carbon were correctly adjusted with an R^2 of 0.9649 and 0.913, respectively; for hazel and zeolite activated carbon, the model was not correctly adjusted with an R^2 of 0.3375 and 0.1309, respectively.

Regarding the elimination of ibuprofen, the highest percentage of elimination determined was 62.47 % with a final concentration of 0.5541 ppm, with 10 grams of zeolite activated carbon and the lowest percentage determined was 3.33 % with a final concentration of 1.4274 ppm, with 0.5 grams of hazel activated carbon.

Key words: ibuprofen, activated carbon, HPLC

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACN	Acetonitrilo
AINE	Antiinflamatorio no esteroideo
CE	Contaminantes emergentes
CIU	Clasificación Industrial Internacional Uniforme
°C	Grado centígrado
cm²	Centímetro cuadrado
m²	Metro cuadrado
cm²/g	Centímetro cuadrado por gramo
%	Porcentaje
g	Gramo
mg	Miligramo
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
mm	Milímetro
ml	Mililitro
mL/min	Mililitro por minuto
L/Kg	Litro por kilogramo
mg/L	Miligramo por litro
ng/mL	Nanogramo por mililitro
ng.h/mL	Nanogramo hora por mililitro
ppm	Partes por millón
rpm	Revolución por minuto
µm	Micrómetro
T_{máx}	Tiempo máximo
C_{máx}	Concentración máxima
H	Hora
µL	Microlitro

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

A nivel mundial el sector farmacéutico es uno de los sectores con mayor actividad y relevancia dentro de la economía de un país, es un importante elemento para la asistencia sanitaria de todo el mundo, teniendo como principal actividad la investigación y el desarrollo (I+D), para el descubrimiento, producción y mercantilización de medicinas para la salud humana y animal (Tait, 2012).

Keith Tait (2012), señala que entre varios elementos que trabajan conjuntamente con datos científicos, sociales y económicos, configuran la industria farmacéutica apeándose a leyes, reglamentos y políticas establecidas por el gobierno para su aprobación, fabricación y control de la calidad.

El primer estudio sobre contaminación por productos farmacéuticos se realizó en la planta de tratamiento de residuos (PTAR) ubicada en Kansas City en 1976, para el año de 1992 un grupo de investigadores alemanes identificaron la presencia de una sustancia química denominado ácido clofíbrico en el agua, para ese mismo año estudios realizados en Alemania, Dinamarca y Suecia determinaron la presencia del mismo ácido en ríos, lagos y mares, permitiendo clasificar a los fármacos como una nueva fuente de contaminación medio ambiental, donde se incluyen antibióticos, hormonas, analgésicos, entre otros (Quesada Peñate y Jáurequi Haza, 2009).

El Ibuprofeno es un analgésico antiinflamatorio que se aplica en tratamientos inflamatorios significativos, como artritis reumatoide leve y alteraciones musculoesqueléticas (FACMED, 2007).

La automedicación del ibuprofeno es una práctica cada vez más común entre la población, en gran parte, hablando de los países que se encuentran con mira a desarrollarse. A nivel del Ecuador, el sector farmacéutico no es muy desarrollado ya que solo el 20 % de la demanda local es producida a comparación de países cercanos que producen entre el 50 % al 70 % de su demanda; para el año 2014 en el país existían alrededor de 285 laboratorios que producían alguna clase de fármaco, sin embargo, solo 22 de ellos poseían certificaciones de BPM (Vallejo Bravo, 2017).

Como se observa en la tabla 1, para el año 2017 en la producción de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y sus derivados representaba a penas el 3 % de participación en el sector de la industria manufacturera (Vite y Párraga, 2019).

Tabla 1

Subsectores en la industria manufacturera

<i>CIIU</i>	<i>Subsector</i>	<i>Porcentaje participación (%)</i>
C25	Fabricación de productos de metal, excepto maquinaria y equipo	2 %
C21	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales	3 %
C29	Fabricación de vehículos	4 %
C17	Fabricación de papel y productos de papel	6 %
C20	Fabricación de sustancias y productos químicos	6 %
C22	Fabricación de productos de caucho y plástico	6 %
C24	Fabricación de metales comunes	7 %
C11	Elaboración de bebidas	7 %
C23	Fabricación de productos minerales no metálicos	7 %
C10	Elaboración de productos alimentarios	37 %

Nota. Se describe el porcentaje de participación en el de los subsectores pertenecientes al sector manufacturero. Tomado de (Vite y Párraga, 2019).

Quesada, P. y Jáuregui, U., señalan que independientemente de cuál sea el organismo de agua, se pueden encontrar alrededor de 30 a 60 productos de aplicación farmacéutica, donde, la

concentración en dichos productos es de disposición de partes por billón a comparación con lo encontrado en los pesticidas, debido que el 30 % de estas medicinas generadas, son lipofílicas, es decir, que se disuelven en la grasa, pero no es posible que lo haga en agua, permitiendo que pasen por las membranas de la célula y actuar dentro de ellas, y en mucho de los casos entrar a la cadena alimentaria.

Ante esta problemática, el presente trabajo de investigación permitió determinar el tipo de carbón activado que presenta un mejor proceso de adsorción ante el ibuprofeno para la remediación de aguas residuales farmacéuticas mediante análisis en HPLC.

1.2. Delimitación

La presente investigación se realizará en la ciudad de Quito, Provincia de Pichincha, a nivel de laboratorio en la Universidad Politécnica Salesiana. Para este trabajo se empleó 4 diferentes tipos de carbón activado para la remoción de ibuprofeno de una muestra de agua residual fabricada.

1.3. Pregunta de investigación

La pregunta de investigación del presente estudio se centra en determinar el tipo de sistema de adsorción óptimo para la remoción del Ibuprofeno en una muestra de agua residual fabricada a nivel de laboratorio. Así como de identificar el tipo de carbón activado que presenta un mayor porcentaje de remoción de ibuprofeno para el desarrollo de un método técnico y práctico de desorción.

1.4. Objetivo general y específicos

1.4.1. Objetivo General

- Determinar el tipo de sistema de adsorción óptimo para la remoción del Ibuprofeno en una muestra de agua residual fabricada.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Determinar qué tipo de carbón activado presenta mejor adsorción al ibuprofeno para la remediación de aguas residuales farmacéuticas, mediante análisis en HPLC.
- Identificar la relación existente de Ibuprofeno adsorbido y la concentración de carbón activado mediante procesos de isotermas de adsorción.
- Desarrollar un método técnico y práctico de desorción del ibuprofeno desde cada material adsorbente ensayado.

1.5. Hipótesis

En el presente trabajo, se han planteado las siguientes hipótesis:

Hi: Mediante diferentes tipos de carbón activado no es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

Ho: Mediante diferentes tipos de carbón activado es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Fármaco

2.1.1. Definición.

Se define al fármaco o principio activo como cualquier sustancia que no sea alimento, empleado para el análisis, tratamiento, alivio y prevención de un padecimiento o enfermedad, que sirve para el tratamiento de estas afecciones que alteran el funcionamiento del organismo, algunos de los fármacos más comercializados son el ibuprofeno, paracetamol, entre otros (Shalini, 2019).

2.1.2. Clasificación farmacológica.

2.1.2.1. Sistema nervioso central.

Tabla 2

Clasificación según el sistema nervioso central.

<i>Tipo</i>	<i>Ejemplo</i>
Analgésicos	Paracetamol Salicilatos
Anestésicos	Generales Locales
Anticonvulsionantes	Barbitúricos Benzodiazepinas
Antimigrañosos	Agentes bloqueantes beta adrenérgicos Antagonistas de receptores de serotonina
Narcóticos	Opiáceos
Psicoterapéuticas	Ansiolíticos Antidepresivos
Sedantes e hipnóticos	Barbitúricos Benzodiazepinas

Nota. Se describe la clasificación farmacológica según el sistema nervioso central. Tomado de (Tait, 2012).

2.1.2.2. Sistema renal y cardiovascular.

Tabla 3

Clasificación según el sistema renal y cardiovascular.

<i>Tipo</i>	<i>Ejemplo</i>
Antidiabéticos	Biguanidas Inhibidores de la glucosidasa Insulinas
Agentes cardioprotectores	Sulfotriforeas Bloqueantes adrenérgicos Estimulantes Inhibidores de la angiotensina Bloqueadores de los canales de calcio Antiarrítmicos Diuréticos Vasodilatores Vasodepresores

Nota. Se describe la clasificación farmacológica según el sistema renal y cardiovascular. Tomado de (Tait, 2012).

2.1.2.3. Sistema gastrointestinal.

Tabla 4

Clasificación según el sistema gastrointestinal

<i>Tipo</i>	<i>Ejemplo</i>
Fármacos que actúan en el sistema gastrointestinal	Antiácidos Antiflatulentos Antidiarreicos Antieméticos Antiespasmódicos Laxantes Prostaglandinas

Nota. Se describe la clasificación farmacológica según el sistema gastrointestinal. Tomado de (Tait, 2012).

2.1.2.4. Antiinfecciosos y órganos diana

Tabla 5

Clasificación según de tipo antiinfecciosos y órganos diana

<i>Tipo</i>	<i>Ejemplo</i>
Antiinfecciosos sistémicos	Tratamientos del SIDA Amebicidas Antihelmínticos Antibióticos Antifúngicos Antipalúdicos Sulfamidas Cefalosporinas Tetraciclinas
Aparato respiratorio	Antitusígenos Broncodilatadores Descongestionantes Expectorantes
Piel y mucosas	Preparados contra el acné Alergenos Antiinfecciosos Preparados para quemaduras
Tracto urinario	Emolientes Antiinfecciosos Antiespasmódicos
Preparados vaginales	Antifúngicos

Nota. Se describe la clasificación farmacológica de tipo antiinfecciosos y órganos diana. Tomado de (Tait, 2012).

2.1.2.5. Quimioterapia.

Tabla 6

Clasificación para quimioterapia

<i>Tipo</i>	<i>Ejemplo</i>
Antineoplásicos	Tratamiento coadyuvante Agentes alquilantes Antibióticos Antimetabolitos Hormonas Inmuno moduladores

Nota. Se describe la clasificación farmacológica para quimioterapia. Tomado de (Tait, 2012).

2.1.2.6. Sangre y órganos hematopoyéticos.

Tabla 7

Clasificación para sangre y hematopoyéticos

<i>Tipo</i>	<i>Ejemplo</i>
Modificadores de la sangre	Anticoagulantes Antiplaquetarios Factores estimulantes de colonias Antianémicos Hemostáticos Fracciones del plasma
Vasodilatadores	Vasodilatadores cerebrales

Nota. Se describe la clasificación farmacológica para sangre y órganos hematopoyéticos. Tomado de (Tait, 2012).

2.1.2.7. Según el sistema endocrino.

Tabla 8

Clasificación según el sistema endocrino

<i>Tipo</i>	<i>Ejemplo</i>
Productos para diagnóstico	Esteroides de la corteza suprarrenal Glucocorticoides Gonadotropinas Disfunción hipotalámica Pruebas de función tiroidea
Hormonas	Inhibidores de los esteroides de la corteza suprarrenal Esteroides anabolizantes Andrógenos Estrógenos Gonadotropinas Hormona del crecimiento

Nota. Se describe la clasificación farmacológica para el sistema endocrino. Tomado de (Tait, 2012).

2.2. Ibuprofeno

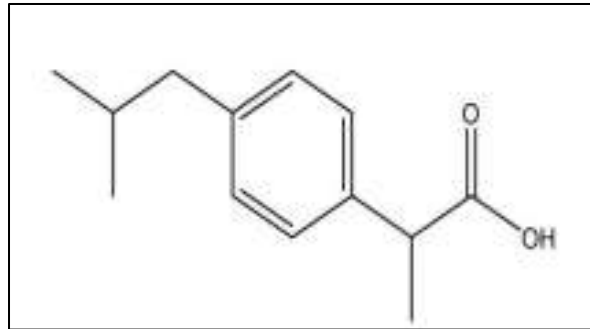
2.2.1. Definición

Un antiinflamatorio no esteroideo (AINE) como lo es el ibuprofeno, el cual pertenece a los subgrupos de los procedentes o derivados de ácido fenilpropiónico, este compuesto se caracteriza por tener una alta solubilidad en los tejidos, pero un nivel bajo en el agua, lo que le permite tener una rápida permeabilidad al ser metabolizado por el organismo para su

completa adsorción, haciéndole uno de los fármacos más seguro para el consumo humano (Vallejo Bravo, 2017).

Figura 1

Molécula de ibuprofeno



Nota. El gráfico representa la estructura química del fármaco ibuprofeno. Fuente: (Vallejo Bravo, 2017)

Minaya, C. (2016), señala que el ibuprofeno posee una farmacocinética de tipo lineal, el mismo que puede alcanzar concentraciones máximas a las dos horas después de haber sido administrada, con un volumen aparente de distribución de 0.1 a 0.2 L/kg.

El ibuprofeno, al ingerirse, se metaboliza de manera efectiva en el hígado mediante diferentes procesos de hidroxilación y carboxilación pertenecientes al grupo de isobutilos y sus metabolitos presentan una baja actividad farmacológica.

2.2.2. Propiedades farmacocinéticas

- Adsorción: Administración vía oral, presenta un proceso de adsorción rápida, la C_{max} es de 54.63 ng/ml, el T_{max} es de 1.5 h, luego, se realiza el análisis de la biodisponibilidad AUC_{0-8} es de 190.4 ng.h/ml. (Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios, 2021).

- Distribución: Se sabe que el volumen general de dispersión después de la aplicarse la dosis oral, es de 0.1 a 0.2 L/kg, esto seguido de una unión de proteínas plasmáticas entorno al 99 % (Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios, 2021).
- Metabolismo: El ibuprofeno es metabolizado en el hígado a través del CYP2C9 y CYP2C8, los mismos que son en parte conjugados con ácido glucurónico (Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios, 2021).
- Eliminación: La eliminación se da principalmente a nivel renal, después de 24 horas de su administración, donde el 90 % es eliminado como metabolitos sin actividad, así como también aparecen glucurónidos, y el 10 % restante aparecen inalterados (Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios, 2021).

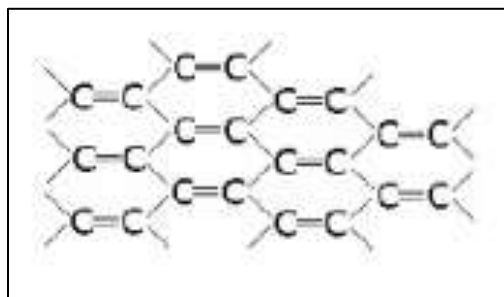
2.3. Carbón Activado

2.3.1. Definición

Material carbonoso, microcristalino y no grafitico, obtenido mediante la reacción con gases oxidantes como por ejemplo CO₂, aire, vapor de agua o mediante un tratamiento con aditamento de algún producto químico durante el proceso de carbonización empleado para aumentar la porosidad (Vayas Torres, 2017). El carbón activado o carbón activo, está conformado por microcristales elementales, los mismos que forman una estructura bidimensional de planos hexagonales como se observa en la figura 2 (Martínez de Yuso Ariza, 2012).

Figura 2

Estructura del carbón activado



Nota. El gráfico representa la estructura bidimensional del carbón activado (Martínez de Yuso Ariza, 2012)

El carbón activado se caracteriza por ser extremadamente poroso, su área superficial oscila entre los 500 a 1500 m² por cada gramo de carbón, así sabemos que esta superficie dependerá únicamente de la materia prima recolectada y del proceso al que haya sido sometido para su activación, el principio fundamental del carbón activado es la adsorción mediante fuerzas de atracción conocidas como “fuerzas de Van Der Waals”, en el cual los átomos presentes en la superficie del sólido atraen y retienen las moléculas de otro compuesto, el uso del carbón activado para fines de remoción de impurezas orgánicas suele ser la más económica y sencilla (Ramírez Guerra, 2019).

Ramírez Guerra (2019), señala que existen dos tipos de fenómenos de adsorción:

- Fisisorción: No tiene un cambio de partículas, el adsorbente y el adsorbato no se intercambiarán, permitiendo que el proceso sea reversible.
- Quimisorción: Presentan modificaciones en las estructuras químicas del adsorbato y adsorbente, permitiendo que el proceso sea irreversible.

2.3.2. Propiedades que afectan la adsorción del carbón activado.

El proceso de adsorción del carbón activado y del adsorbato suelen ser afectados por diversas propiedades y/o condiciones del gas o del líquido con el que actúan para llevar a

cabo el proceso de adsorción, a continuación, se describen algunas de las propiedades y/o condiciones (Ramírez Guerra, 2019):

Tabla 9

Propiedades que afectan el proceso de adsorción del carbón activado

<i>Propiedad</i>	<i>Característica</i>
Relacionada con el tipo de carbón activado	<ul style="list-style-type: none"> a) Cuando el tamaño del diámetro de los poros es de una a cinco veces mayor que el diámetro del adsorbato, la adsorción aumenta. b) La adsorción presenta afectación cuando existe una diferencia en la química superficial y en los constituyentes.
Relacionada con el adsorbato	<ul style="list-style-type: none"> a) A mayor peso molecular, mayor es la fuerza de adsorción. b) Moléculas orgánicas con presencia de átomos de cloro, bromo o yodo presentan mayor fuerza de adsorción. c) A menor solubilidad del adsorbato en fase líquida, aumenta la adsorción.
Relación con el líquido que rodea el carbón activado	<ul style="list-style-type: none"> a) El proceso de adsorción es inversamente proporcional al pH, es decir a menor pH mayor adsorción. b) A mayor temperatura, menor adsorción debido que aumenta la solubilidad del adsorbato.

Nota. Se describen las propiedades que afectan el proceso de adsorción del carbón activado. Tomado de (Ramírez Guerra, 2019).

El carbón activado contiene un área superficial total de intercambio químico por masa de absorbente de aproximadamente 180 cm²/g y también como área superficial efectiva de intercambio de 41 cm² y, para la determinación de pesticidas, se utiliza el tipo Pest-POCIS que maneja una combinación de tres fases de 200 mg de absorbentes en estapa sólida (Hernández Hernández, 2013).

2.3.3. Tipos de carbón activado

2.3.3.1. Carbón activado de coco

Carbón activado de origen vegetal, elaborado a partir de la cáscara de coco (figura 3), es la más adecuada para la adsorción de moléculas pequeñas, posee una gran cantidad de micro a meso poros, puede ser sometido a altas temperaturas como por ejemplo a 300 °C en tratamientos térmicos (Vayas Torres, 2017).

Figura 3

Carbón activado de coco



Nota. En la figura se observa el carbón activado de coco.

2.3.3.2. Carbón activado zeolita

Carbón activado de origen volcánico, retiene partículas de hasta 5 micras, estructuralmente está conformado por tetraedros de silicio y aluminio, una de las principales ventajas es que permite reducir en bajas cantidades la acidez del agua, ya que posee una mayor superficie y porosidad, el mismo que solo requiere un simple retrolavado para mantener su eficiencia (Calderón Benavides, López Juárez, y Siete Guardado, 2016).

Figura 4

Carbón activado zeolita



Nota. En la figura se observa el carbón activado zeolita. Fuente: La investigación

2.3.3.3. Carbón activado de banano

Navarrete, D. (2014), señala que el carbón activado de banano es elaborado a partir de la cascara del banano, con una proporción de 5 mg por cada 100 ml de agua contaminada, su tasa de descontaminación es menor del 65 %.

Figura 5

Carbón activado de banano



Nota. En la figura se observa el carbón activado de banano. Fuente: La investigación

2.4. Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia

2.4.1. Definición

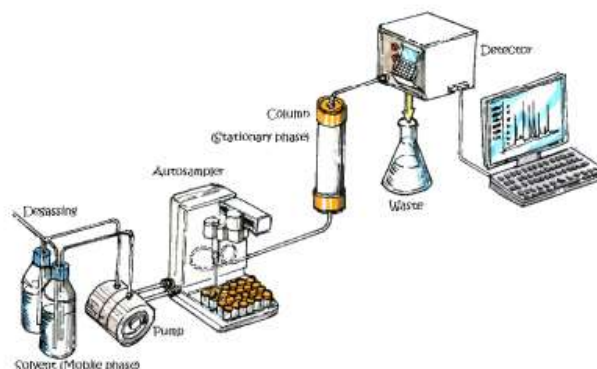
El análisis de Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia o (HPLC), es un tratamiento de carácter físico cuyo principio de funcionamiento consiste en separar analitos mediante el uso de una fase móvil y una fase estacionaria (Gallegos Flores y Medina Parra, 2019). Una de las características cromatográficas del HPLC, es que trabaja a altas presiones, la misma que se realiza en una columna de dimensiones de 10 a 30 cm de longitud y de 4 a 10 mm de diámetro interno (Gallegos Flores y Medina Parra, 2019).

Como se observa en la figura 6, el HPLC cuenta con 6 componentes principales (Eraso Guerrero y Quenguan Cuaran, 2015), los mismos que se describen a continuación:

- Depósito fase móvil.
- Bomba, la cual permite que se de la transferencia entre fases móviles a la columna cromatográfica.
- Automuestreador.
- Columna cromatográfica.
- Detector.
- Computador.

Figura 6

Componentes principales del HPLC



Nota. El gráfico representa los componentes que conforman el equipo HPLC. Fuente: (Eraso Guerrero y Quenguan Cuaran, 2015)

2.5. Agua residual

2.5.1. Definición

Toda aquella agua cuya calidad fue afectada de manera directa o indirecta por influencia antropogénica, se caracteriza por presentar impurezas procedentes de vertidos principalmente de los sistemas de alcantarillado, existen diferentes tipos de agua residual como son: domésticas, industriales, comerciales, etc. (Valencia López, 2013).

2.5.2. Tipos de agua residual

2.5.2.1. Agua residual de origen farmacéutico

Residuos líquidos originados principalmente por la fabricación de fármacos, los contaminantes procedentes de esta actividad económica se denominan Contaminantes Emergentes (CE), los mismos que se encuentran en concentraciones traza en el agua, los principales fármacos presentes en el agua son los analgésicos, antibióticos, hormonas, entre otros (Vallejo Bravo, 2017). En la siguiente tabla se describe el nivel de toxicidad de los productos farmacéuticos:

Tabla 10

Nivel de toxicidad de productos farmacéuticos

<i>Fármaco</i>	<i>Extremadamente tóxico CE₅₀<0.1 mg/l</i>	<i>Muy tóxico CE 0.1-1 mg/l</i>	<i>Tóxico CE₅₀ 1-10 mg/l</i>	<i>Dañino CE₅₀ 10-100 mg/l</i>	<i>No tóxico CE₅₀ >100 mg/l</i>
Analgésico			D	D, E	
Antibiótico	A	B			
Antidepresivo		D			
Cardio vasculares		D			
Antiepilépticos			C		D, E

Nota. Se describe los niveles de toxicidad de productos farmacéuticos a organismos. Donde: A: microorganismos, B: alga, C: nidarias, D: crustáceos, E: peces. Fuente: (Vallejo Bravo, 2017)

2.5.2.2. Agua residual industrial

Procedentes de los procesos productivos, este tipo de agua se caracteriza por presentar una gran cantidad de contaminantes, siendo en su mayoría materia orgánica, entre otros compuestos que se encuentran están los agentes patógenos como virus, bacterias, residuos agroquímicos, metales pesados, hidrocarburos y sus derivados (Vallejo Bravo, 2017).

2.6. Modelos matemáticos de adsorción

2.6.1. Isoterma de adsorción de Langmuir

Es el modelo más empleado para los procesos de adsorción de tipo sólido a líquido, sólido a vapor, sólido a gas, líquido a vapor y líquido a líquido, este modelo se guía en presunción de que el total de puntos adsorbidos en un adsorbente son idénticos y energéticamente equivalentes Penedo Medina et al. (2014). El modelo está representado por la siguiente ecuación:

$$Q_e = \frac{Q_m \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e}$$

Ecuación 1 *Modelo de Langmuir*

Fuente: Penedo Medina et al. (2014)

Donde:

b : constante de afinidad (L/mg)

Q_m : capacidad de adsorción máxima (mg soluto/g adsorbente)

Q_e : capacidad de adsorción (mg/g) de adsorbente

C_e : concentración de soluto en el equilibrio (mg/L)

La forma lineal de la ecuación es:

$$\frac{1}{Q_e} = \left(\frac{1}{Q_m \cdot b_e} \right) \cdot \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m}$$

Ecuación 2 *Forma lineal de la ecuación de Langmuir*

Fuente: Penedo Medina et al. (2014)

Donde:

b_e : constante de afinidad (L/mg)

Q_m : capacidad de adsorción máxima (mg soluto/g adsorbente)

C_e : concentración de soluto en el equilibrio (mg/L)

Q_e : capacidad de adsorción (mg/g) de adsorbente

El factor de separación o de equilibrio, se representa con la ecuación:

$$R_L = \frac{1}{1 + b \cdot C_I}$$

Ecuación 3 *Factor de separación o equilibrio*

Fuente: Penedo Medina et al. (2014)

Donde:

b : constante de afinidad (L/mg)

C_I : concentración inicial de soluto (adsorbato) en la solución (mg/L)

El valor del parámetro de equilibrio indica el tipo de isoterma de adsorción, ya sea favorable ($0 < R_L < 1$), lineal ($R_L = 1$), desfavorable ($R_L > 1$) o irreversible ($R_L = 0$).

2.6.2. *Isoterma de adsorción de Freundlich*

Este modelo se emplea principalmente cuando se busca un equilibrio entre adsorción de gases a sólidos y de sustancias en dilución sobre adsorbentes sólidos, este modelo describe la adsorción sobre una superficie energéticamente heterogénea, la expresión que más representa este modelo es Penedo Medina et al. (2014):

$$Q_e = K_F \cdot C_e^{1/n}$$

Ecuación 4 *Modelo de Freundlich*

Fuente: Penedo Medina et al. (2014)

Donde:

Q_e : capacidad de adsorción de adsorbente (mg/g)

C_e : concentración de soluto en el equilibrio (mg/L)

K_F : indicador aproximado de la capacidad de adsorción (mg/g)

$1/n$: medida de la intensidad de adsorción o factor de heterogeneidad.

El valor del factor de heterogeneidad indica el tipo de isoterma de adsorción, valores de $0 < 1/n < 1$ indican una adsorción favorable.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Reactivos.

3.1.1. Reactivos empleados para análisis de muestras.

Tabla 11

Reactivos empleados para análisis de muestras

<i>Reactivo</i>	<i>Fórmula molecular</i>	<i>Pureza</i>
Hexano	C ₆ H ₁₄	99.9 %
Sulfato de sodio anhidro	Na ₂ SO ₄	99.00 %
Acetonitrilo	CH ₃ CN	≥ 99.9 %

Nota. Se describe los reactivos químicos empleados en la investigación. Fuente: La investigación

3.1.2. Estándar analítico empleado en la investigación

Tabla 12

Estándar empleado para análisis en HPLC

<i>Estándar</i>	<i>Fórmula molecular</i>
Ibuprofeno	C ₁₃ H ₁₈ O ₂

Nota. Se describe el estándar analítico empleado en la investigación. Fuente: La investigación

3.2. Materiales.

3.2.1. Material empleado para preparación de muestras.

Tabla 13

Material empleado en la investigación

<i>Material</i>	<i>Volumen</i>
Probeta	10 mL
Vaso de precipitación	10 mL
	25 mL
Viales ámbar HPLC	2 mL
Embudo de extracción	500 mL
Jeringas	2 mL
Filtro de membrana 0.45 um	-
Filtro de jeringa 0.25 um	-

<i>Material</i>	<i>Volumen</i>
Varilla	-
Embudo	-
Termómetro	-
Agitadores	-

Nota. Se describe los materiales empleados para el proceso de extracción líquido-líquido. Fuente: La investigación

3.2.2. *Material empleado para dilución de estándar analítico*

Tabla 14

Material empleado para dilución de estándar analítico

<i>Material</i>	<i>Volumen</i>
Pipeta	2 mL
	5 mL
	10 mL
Vaso de precipitación	10 mL
	25 mL
	50 mL
Balón de aforo	25 mL
Viales ámbar HPLC	2 mL
Micropipeta 1 – 100 μ m	-

Nota. Se describe los materiales empleados para el proceso dilución del estándar analítico empleados en la investigación. Fuente: La investigación

3.3. *Equipos empleados en la investigación*

Tabla 15

Equipos empleados en la investigación

<i>Equipo</i>	<i>Marca</i>
Balanza analítica	Mettler Toledo
Cabina extractora de gases	Esco
Rotavapor	Labtech
Ultrasonido	Fisher Scientific
Plancha de calentamiento y agitación	Velp Scientifica
Equipo filtración al vacío	Eisco

Nota. Se describe los equipos empleados en la investigación. Fuente: La investigación

El equipo HPLC, está conformado por los siguientes componentes:

Tabla 16

Componentes que conforman el equipo HPLC

<i>Componentes</i>	<i>Marca</i>
Autosampler	Waters 2707
Binary HPLC Pump	Waters 1525
Photodiode Array Detector	Waters 2998

Nota. Se describe los componentes que conforman el equipo HPLC. Fuente: La investigación

Figura 7

Equipo HPLC



Nota. Se observa los componentes que conforman el equipo HPLC, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur, Carrera de Ingeniería Ambiental. Fuente: La investigación

3.4. Métodos

3.4.1. Análisis de muestras

3.4.1.1. Preparación de muestra inicial.

Para la preparación de la muestra inicial se procedió a moler 5 pastillas de 400 miligramos de ibuprofeno como se observa en la figura 8, posterior a eso se disolvió el ibuprofeno molido en 20 L de agua.

Figura 8

Preparación de la muestra inicial



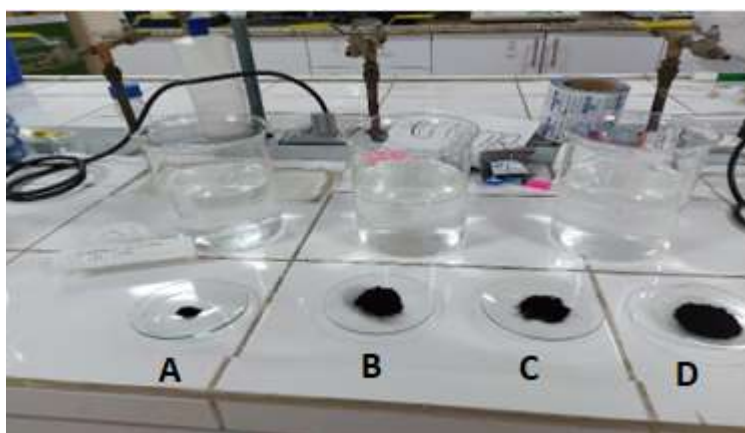
Nota. Se observa el proceso de molido de las pastillas de ibuprofeno de 400 miligramos.

3.4.1.2. Preparación de muestras de agua en presencia de carbón activado.

Para la preparación de las muestras de agua residual se procedió a pesar 0.5, 1, 5 y 10 gramos para cada tipo de carbón activado empleado en la investigación, como se observa en las figuras 9, 10, 11 y 12.

Figura 9

Carbón activado Hazel



Nota: En la gráfica se observa A:0,5, B:1, C:5 y D:10 gramos de carbón activado Hazel. Fuente: La investigación

Figura 10

Carbón activado de Banano



Nota: En la gráfica se observa A:0,5, B:1, C:5 y D:10 gramos de carbón activado de banano. Fuente: La investigación

Figura 11

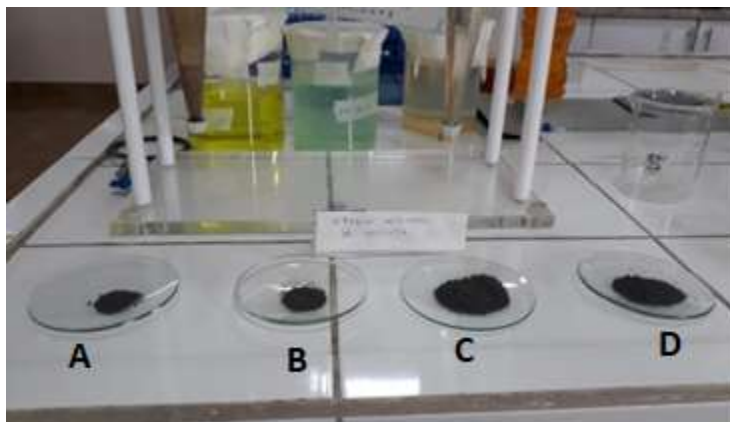
Carbón activado de Coco



Nota: En la gráfica se observa A:0,5, B:1, C:5 y D:10 gramos de carbón activado de coco. Fuente: La investigación

Figura 12

Carbón activado Zeolita



Nota: En la gráfica se observa A:0,5, B:1, C: 5 y D:10 gramos de carbón activado zeolita. Fuente: La investigación

Una vez pesado cada uno de los tipos de carbón activado, se procedió a colocarlos en 1000 mL de agua residual, sometidos a un proceso de agitación térmico a una temperatura de 60 °C y una velocidad de 270 rpm por un periodo 30 minutos como se observa en la figura 13.

Figura 13

Carbón activado en muestra de agua residual



Nota: En la gráfica se observa 1000 mL de muestra de agua residual con carbón activado sometido a 60 °C y 270 rpm a través de un agitador magnético, este proceso se lo realizó para cada uno de los pesos de carbón activado en sus diferentes tipos. Fuente: La investigación

3.4.1.3. Filtración de muestra

Para el proceso de filtración, se empleó el equipo de filtración al vacío como se observa en la figura 14, colocando un filtro de membrana de 0.45 μm de porosidad (Cerón Pánchig y Landeta Jibaja, 2020).

Figura 14

Filtración de muestra



Nota: En la gráfica se observa el equipo de filtración al vacío, empleado para el proceso de filtración de las muestras. Fuente: La investigación

3.4.1.4. Extracción del ibuprofeno de las muestras de agua residual.

Para la extracción del ibuprofeno se empleó un embudo de separación, donde se colocaron 500 mL de muestra filtrada, posteriormente se añadió 5 gramos de cloruro de sodio y se agitó hasta que se disuelva por completo como se observa en la figura 15, una vez disuelto se colocó 30 mL de solvente de extracción en este caso n-hexano, se agitó por 30 minutos y se dejó en reposo por 30 minutos (Gallegos Flores y Medina Parra, 2019).

Figura 15

Extracción del ibuprofeno en muestra de agua filtrada



Nota. El gráfico representa el momento donde se colocaron 5 gramos de cloruro de sodio. Fuente: La investigación

Transcurrido los 30 minutos de reposo se separó la fase orgánica (fase superior) de la fase acuosa (fase inferior), como se observa en la figura 16.

Figura 16

Fase orgánica y acuosa de la muestra



Nota. El gráfico representa la formación de la fase orgánica y acuosa en la muestra de agua filtrada. Fuente: La investigación

3.4.1.5. Deshidratación y concentración fase orgánica

Para el proceso de deshidratación de la fase orgánica se realizó una filtración simple, donde se colocó 5 gramos de sulfato de sodio anhidrido sobre papel filtro como se observa en la figura 17, posteriormente se concentró la fase orgánica filtrada en el rotavapor a una temperatura de 70 °C hasta obtener aproximadamente 3 mL de muestra, como se observa en la figura 18 (Gallegos Flores y Medina Parra, 2019).

Figura 17

Filtración simple de la fase orgánica



Nota. El gráfico representa en momento en el que se colocó 5 gramos de sulfato de sodio anhidrido para el proceso de filtración simple de la fase orgánica. Fuente: La investigación

Figura 18

Concentración fase orgánica



Nota. El gráfico representa el proceso de concentración de la fase orgánica en el equipo rotavapor a una temperatura de 70 °C. Fuente: La investigación

Por último, se tomó 1 mL de muestra concentrada y se realizó una filtración directa en el vial ámbar, empleando un filtro de jeringa de 0.25 μm de porosidad y se aforó a 2 mL con acetonitrilo.

3.4.1.6. Preparación de estándar analítico

Se diluyó 10 mg de estándar (ibuprofeno) en 1 mL de acetonitrilo, donde se obtuvo una solución madre de 10 000 ppm, posteriormente se empleó la ecuación 1 para obtener soluciones hijas de 30, 25, 10, 5, 1 y 0.5 ppm, como se observa en la figura 19 (Gallegos Flores y Medina Parra, 2019):

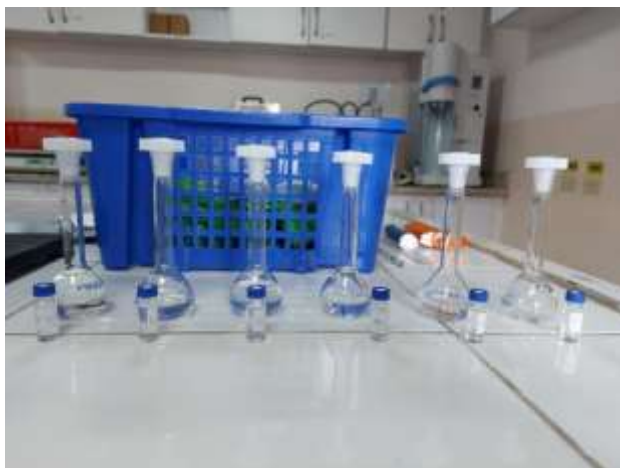
$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Ecuación 5 Dilución de soluciones concentradas

Fuente: (Gallegos Flores y Medina Parra, 2019)

Figura 19

Preparación de estándar analítico



Nota. El gráfico representa las soluciones hijas de 30, 25, 10, 5, 1 y 0.5 ppm. Fuente: La investigación

3.4.1.7. Desgasificación de muestras y estándar

Se colocaron los viales con muestras y el estándar analítico en el ultrasonido en función “desgas” durante un periodo de 5 minutos como se observa en la figura 20 (Gallegos Flores y Medina Parra, 2019).

Figura 20

Desgasificación de muestras y estándar analítico



Nota. El gráfico representa el proceso de desgasificación de las muestras y estándar analítico en el equipo de ultrasonido. Fuente: La investigación

3.4.1.8. Condiciones cromatográficas para análisis en HPLC

A continuación, se detalla las condiciones cromatográficas que se empleó durante la investigación para el análisis de muestras y estándar en el HPLC.

Tabla 17

Condiciones cromatográficas

<i>Columna</i>	<i>Fase móvil ACN/Agua</i>	<i>Flujo (mL/min)</i>	<i>λ (nm)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Volumen de inyección (μL)</i>
C18 (150 mm x 4.6 mm, ID 5 μm)	65:35	0.3	263	30	30

Nota. Se describe las condiciones cromatográficas utilizados para el análisis de muestras durante la investigación.

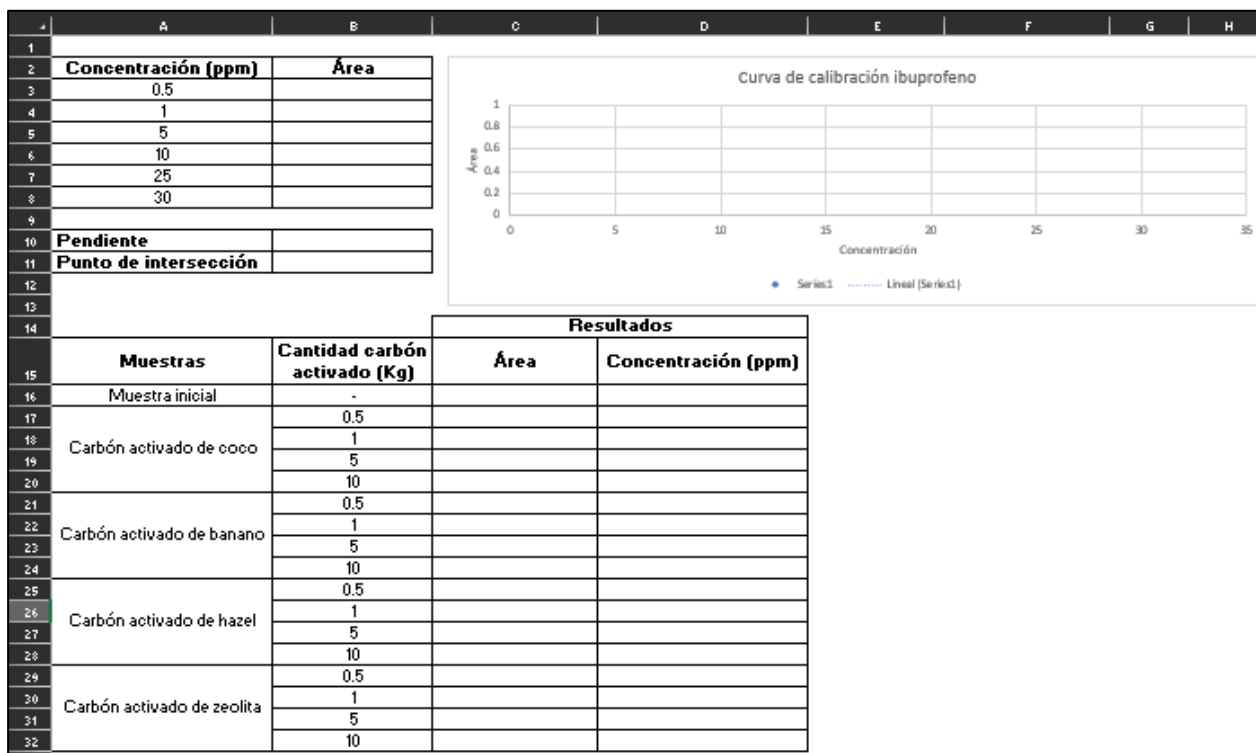
Fuente: La investigación

3.4.1.9. Interpretación de datos

Las soluciones preparadas del estándar analítico se colocaron en la bandeja del autosampler desde la concentración más alta a la más pequeña, seguido de las muestras, posterior a eso se ingresó las condiciones cromatográficas en el software del equipo. Para la interpretación de los resultados, se identificó el pico de interés y se tomó el valor del área para cada una de las muestras, estos valores fueron ingresados en una hoja de cálculo como se observa en la figura 21, lo que permitió obtener la curva de calibración y determinar la concentración del ibuprofeno en cada muestra (Cerón Pánchig y Landeta Jibaja, 2020).

Figura 21

Hoja de cálculo para interpretación de resultados



Nota. El gráfico representa la hoja de cálculo para la interpretación de resultados. Fuente: La investigación

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis en HPLC

4.1.1. Ibuprofeno

Tabla 18

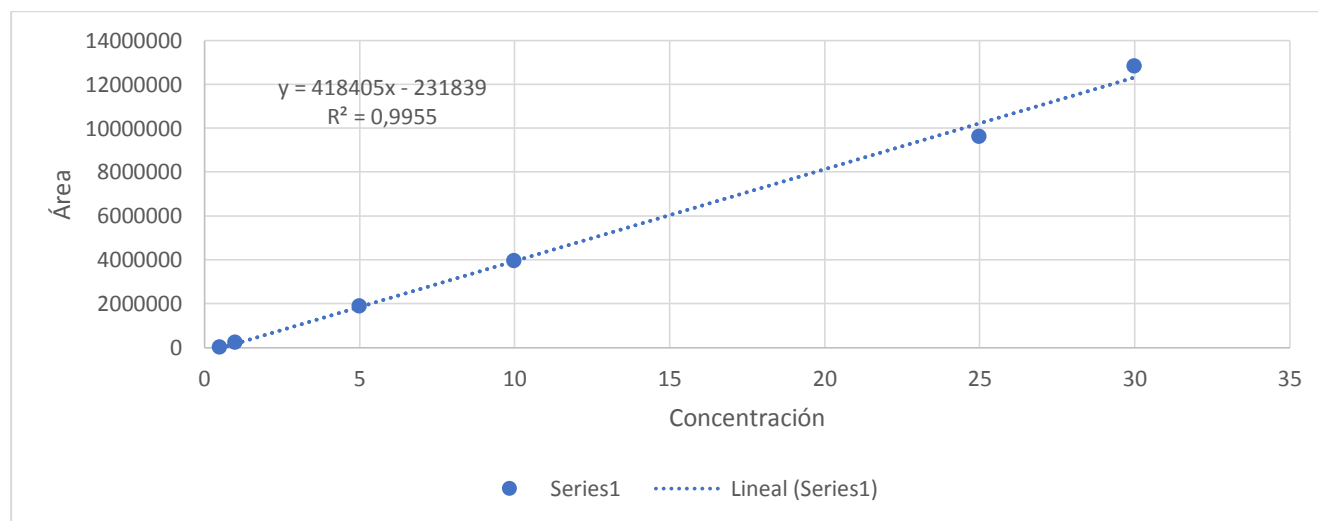
Datos para generar la curva de calibración del estándar ibuprofeno

Concentración (ppm)	Área
0.5	10308
1	241100
5	1876709
10	3956481
25	9617933
30	12822400

Nota. Esta tabla detalla el valor de área para cada una de las soluciones hijas, mediante análisis en HPLC. Fuente: La investigación

Figura 22

Curva de calibración estándar ibuprofeno



Nota. El gráfico representa un modelo de regresión del estándar ibuprofeno. Fuente: La investigación

En la figura 22, se observa que el coeficiente de determinación es de 0.9955 y la ecuación se describe a continuación:

$$y = 418405x - 231839$$

Ecuación 6 *Curva de calibración estándar ibuprofeno*
Fuente: La investigación

4.1.1.1. Concentración de ibuprofeno en muestra inicial.

Tabla 19

Resultado concentración de ibuprofeno en muestra inicial

<i>Muestra</i>	<i>Área</i>	<i>Concentración (ppm)</i>
Inicial	385960	1.4766

Nota. Esta tabla detalla el valor de concentración de ibuprofeno en muestra inicial. Fuente: La investigación

4.1.1.2. Concentraciones de ibuprofeno en muestras con carbón activado de coco.

Tabla 20

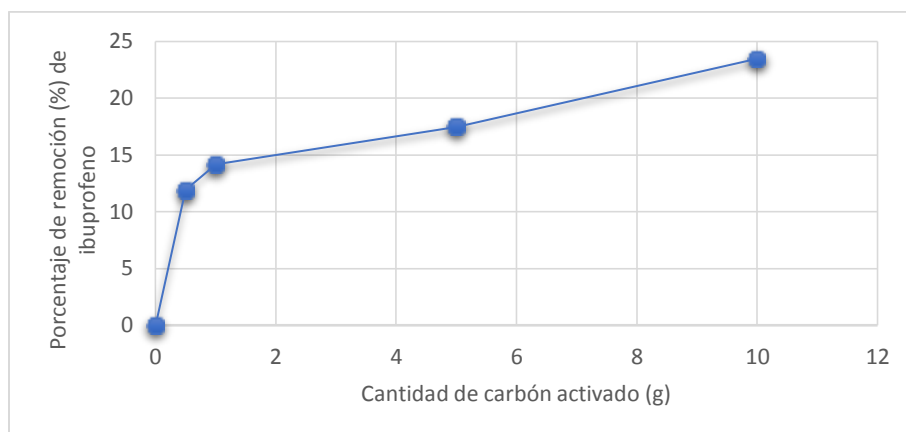
Resultados concentraciones de ibuprofeno con carbón activado de coco

<i>Muestra</i>	<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	<i>Área</i>	<i>Concentración (ppm)</i>	<i>Porcentaje remoción (%)</i>
Carbón activado coco	0.5	312518	1.3010	11.89
	1	298552	1.2676	14.15
	5	278074	1.2187	17.46
	10	241140	1.1304	23.44

Nota. Esta tabla detalla las concentraciones de ibuprofeno en muestras de agua con carbón activado de coco. El % de remoción se obtuvo con respecto a la concentración de la muestra inicial. Fuente: La investigación

Figura 23

Curva de adsorción carbón activado de coco



Nota. El gráfico representa el porcentaje de remoción vs gramos de carbón activado. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 23, para 0.5 g de adsorbente se obtuvo una concentración de 1.3010 ppm que equivale al 11.89 % de remoción de ibuprofeno, para 1 g de adsorbente se obtuvo una concentración de ibuprofeno de 1.2676 ppm que equivale al 14.15 % de remoción, para 5 g de adsorbente la concentración fue de 1.2187 ppm con un porcentaje de remoción de 17.46 % y con 10 g de adsorbente la concentración obtenida fue de 1.1304 ppm con un porcentaje de remoción de 23.44 %, estos valores de porcentaje se obtuvieron con respecto a la concentración inicial que fue de 1.4766 ppm.

4.1.1.3. Concentraciones de ibuprofeno en muestras con carbón activado de banano.

Tabla 21

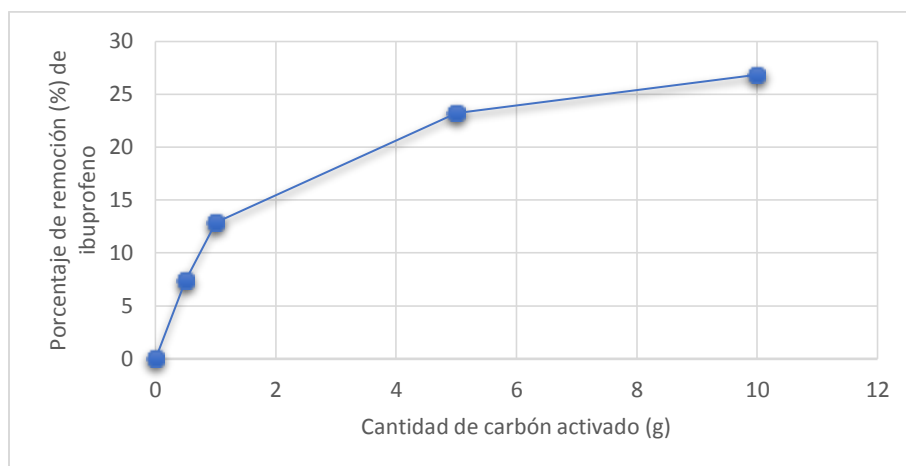
Resultados concentraciones de ibuprofeno con carbón activado de banano

<i>Muestra</i>	<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	<i>Área</i>	<i>Concentración (ppm)</i>	<i>Porcentaje remoción (%)</i>
Carbón activado banano	0.5	340313	1.3675	7.39
	1	306584	1.2868	12.85
	5	242563	1.1338	23.21
	10	220312	1.0808	26.81

Nota. Esta tabla detalla las concentraciones de ibuprofeno en muestras de agua con carbón activado de banano. El % de remoción se obtuvo con respecto a la concentración de la muestra inicial. Fuente: La investigación

Figura 24

Curva de adsorción carbón activado de banano



Nota. El gráfico representa el porcentaje de remoción vs g de carbón activado. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 24, para 0.5 g de adsorbente se obtuvo una concentración de 1.3675 ppm que equivale al 7.39 % de remoción de ibuprofeno, para 1 g de adsorbente se obtuvo una concentración de ibuprofeno de 1.2868 ppm que equivale al 12.85 % de remoción, para 5 g de adsorbente la concentración fue de 1.1338 ppm con un porcentaje de remoción de 23.21 % y con 10 g de adsorbente la concentración obtenida fue de 1.0807 ppm con un porcentaje de remoción de 26.81 %, estos valores de porcentaje se obtuvieron con respecto a la concentración inicial que fue de 1.4766 ppm.

4.1.1.4. Concentraciones de ibuprofeno en muestras con carbón activado hazel.

Tabla 22

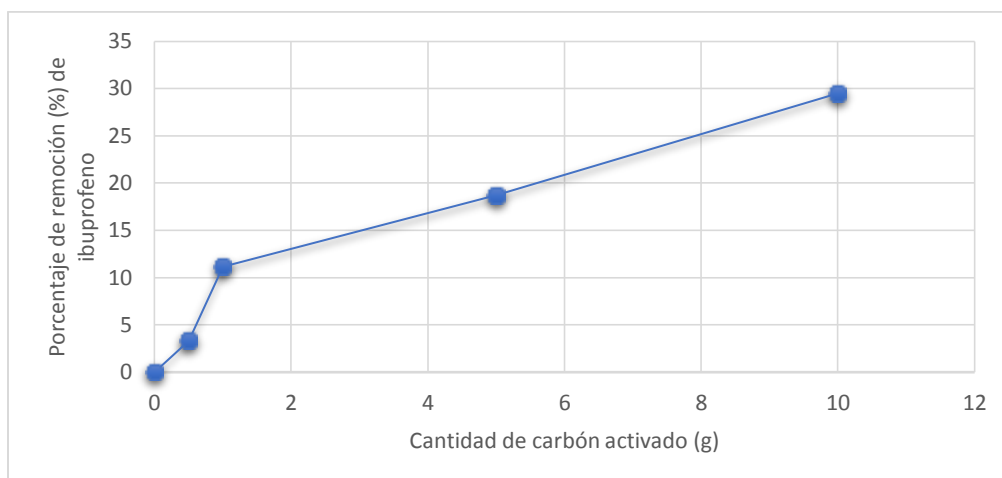
Resultados concentraciones de ibuprofeno con carbón activado hazel

<i>Muestra</i>	<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	<i>Área</i>	<i>Concentración (ppm)</i>	<i>Porcentaje remoción (%)</i>
	0.5	365410	1.4274	3.33
Carbón activado	1	316947	1.3116	11.17
Hazel	5	270491	1.2006	18.69
	10	203979	1.0416	29.46

Nota. Esta tabla detalla las concentraciones de ibuprofeno en muestras de agua con carbón activado de hazel. El % de remoción se obtuvo con respecto a la concentración de la muestra inicial. Fuente: La investigación

Figura 25

Curva de adsorción carbón activado hazel



Nota. El gráfico representa el porcentaje de remoción vs g de carbón activado. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 25, para 0.5 g de adsorbente se obtuvo una concentración de 1.4274 ppm que equivale al 3.33 % de remoción de ibuprofeno, para 1 g de adsorbente se obtuvo una concentración de ibuprofeno de 1.3116 ppm que equivale al 11.17 % de remoción, para 5 g de adsorbente la concentración fue de 1.2006 ppm con un porcentaje de remoción de 18.69 % y con 10 g de adsorbente la concentración obtenida fue de 1.0416 ppm con un porcentaje de remoción de 29.46 %, estos valores de porcentaje se obtuvieron con respecto a la concentración inicial que fue de 1.4766 ppm.

4.1.1.5. Concentraciones de ibuprofeno en muestras con carbón activado zeolita.

Tabla 23

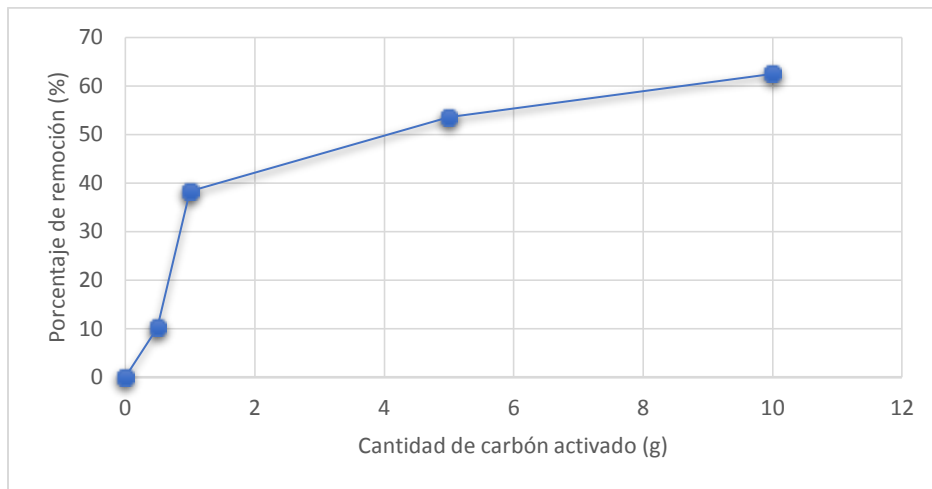
Resultados concentraciones de ibuprofeno con carbón activado zeolita

<i>Muestra</i>	<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	<i>Área</i>	<i>Concentración (ppm)</i>	<i>Porcentaje remoción (%)</i>
Carbón activado zeolita	0.5	323107	1.3263	10.17
	1	149712	0.9119	38.24
	5	55503	0.6868	53.49
	10	0	0.5541	62.47

Nota. Esta tabla detalla las concentraciones de ibuprofeno en muestras de agua con carbón activado de zeolita. El % de remoción se obtuvo con respecto a la concentración de la muestra inicial. Fuente: La investigación

Figura 26

Curva de adsorción carbón activado zeolita



Nota. El gráfico representa el porcentaje de remoción vs g de carbón activado. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 26, para 0.5 g de adsorbente se obtuvo una concentración de 1.3263 ppm que equivale al 10.17 % de remoción de ibuprofeno, para 1 g de adsorbente se obtuvo una concentración de ibuprofeno de 0.9119 ppm que equivale al 38.24 % de remoción, para 5 g de adsorbente la concentración fue de 0.6868 ppm con un porcentaje de remoción de 53.49 % y con 10 g de adsorbente la concentración obtenida fue de 0.5541 ppm con un porcentaje de remoción de 62.47 %, estos valores de porcentaje se obtuvieron con respecto a la concentración inicial que fue de 1.4766 ppm.

En el **anexo 1** se presenta una tabla resumen de las concentraciones obtenidas mediante el análisis cromatográfico HPLC.

4.2. Isoterma de adsorción de Langmuir

4.2.1. Carbón activado de coco

Tabla 24

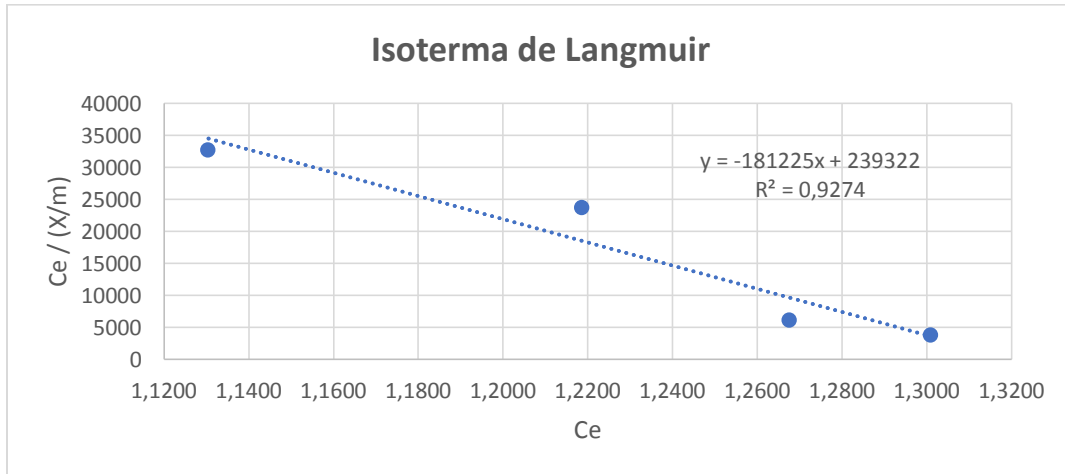
Isoterma de Langmuir carbón activado de coco

Cantidad de carbón activado (g)	C_e	$X = C_o - C_e$	$q = X/m$	$C_e / (X/m)$
0	1.4766	0	-	-
0.5	1.3010	0.1756	0.000351142	3705.134166
1	1.2676	0.2090	0.00020895	6066.754442
5	1.2187	0.2579	5.15786×10^{-05}	23628.12483
10	1.1304	0.3462	3.46167×10^{-05}	32655.76561

Nota. Esta tabla detalla los valores obtenidos para el modelo matemático de Langmuir. Fuente: La investigación

Figura 27

Isoterma de Langmuir carbón activado de coco



Nota. El gráfico representa la línea de tendencia del modelo matemático de Langmuir. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 27, el valor de R^2 es de 0.9274 por ende, el modelo matemático propuesto es adecuado para representar los datos experimentales. Se determinaron los valores de la forma lineal de la isoterma de Langmuir para el carbón activado de coco:

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{b}C + \frac{1}{kb}$$

$$y = mx + b$$

$$\frac{1}{b} = -181225$$

$$\frac{1}{kb} = 239322$$

$$\text{Fuerza de unión} = k = -0.76$$

$$\text{Cantidad máxima adsorbida} = b = -5.51 \times 10^{-06}$$

4.2.2. Carbón activado de banano

Tabla 25

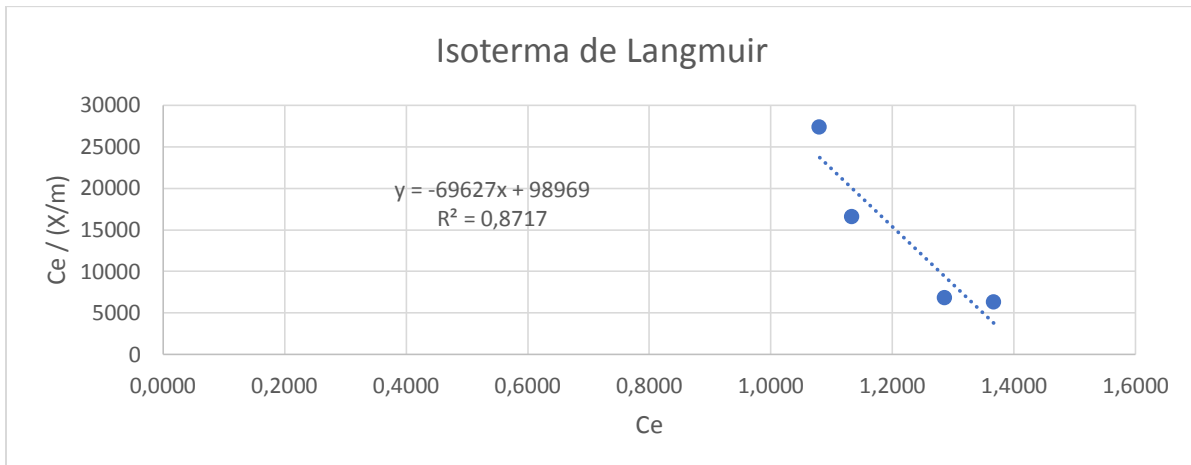
Isoterma de Langmuir carbón activado de banano

<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	C_e	$X = C_o - C_e$	$q = X/m$	$C_e / (X/m)$
0	1.4766	0	-	-
0.5	1.3675	0.1091	0.00021828	6264.690876
1	1.2868	0.1898	0.000189754	6781.673683
5	1.1338	0.3428	6.85531×10^{-05}	16539.50373
10	1.0807	0.3959	3.95946×10^{-05}	27292.95589

Nota. Esta tabla detalla los valores obtenidos para el modelo matemático de Langmuir. Fuente: La investigación

Figura 28

Isoterma de Langmuir carbón activado de banano



Nota. El gráfico representa la línea de tendencia del modelo matemático de Langmuir. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 28, el valor de R^2 fue de 0.8717 por ende, el modelo matemático propuesto es adecuado para representar los datos experimentales. Se determinaron los valores de la forma lineal de la isoterma de Langmuir para el carbón activado de banano:

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{b}C + \frac{1}{kb}$$

$$y = mx + b$$

$$\frac{1}{b} = -69627$$

$$\frac{1}{kb} = 98969$$

$$\text{Fuerza de unión} = k = -0.70$$

$$\text{Cantidad máxima adsorbida} = b = -1.43622 \times 10^{-05}$$

4.2.3. Carbón activado hazel

Tabla 26

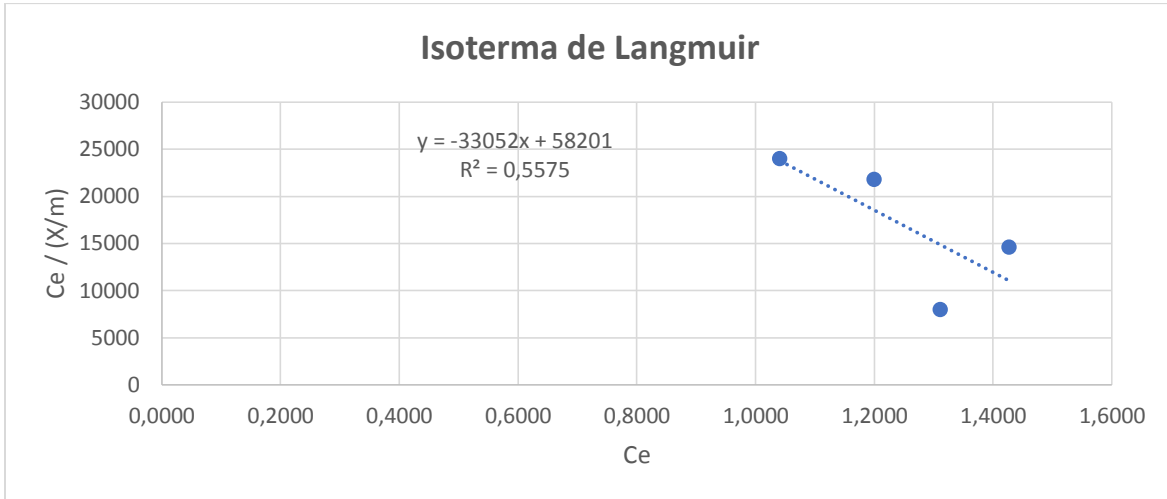
Isoterma de Langmuir carbón activado hazel

Cantidad de carbón activado (g)	C_e	$X = C_o - C_e$	$q = X/m$	$C_e / (X/m)$
0	1.4766	0	-	-
0.5	1.4274	0.0492	9.83154×10^{-05}	14519.01351
1	1.3116	0.1650	0.000164986	7949.869003
5	1.2006	0.2760	5.52034×10^{-05}	21748.36864
10	1.0416	0.4350	4.34982×10^{-05}	23946.19882

Nota. Esta tabla detalla los valores obtenidos para el modelo matemático de Langmuir. Fuente: La investigación

Figura 29

Isoterma de Langmuir carbón activado hazel



Nota. El gráfico representa la línea de tendencia del modelo matemático de Langmuir. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 29, el valor de R^2 fue de 0.5575 por ende, el modelo matemático propuesto no es adecuado para representar los datos experimentales. Se determinaron los valores de la forma lineal de la isoterma de Langmuir para el carbón activado hazel:

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{b}C + \frac{1}{kb}$$

$$y = mx + b$$

$$\frac{1}{b} = -33052$$

$$\frac{1}{kb} = 58201$$

$$\text{Fuerza de unión} = k = -0.57$$

$$\text{Cantidad máxima adsorbida} = b = -3.02554 \times 10^{-05}$$

4.2.4. Carbón activado zeolita

Tabla 27

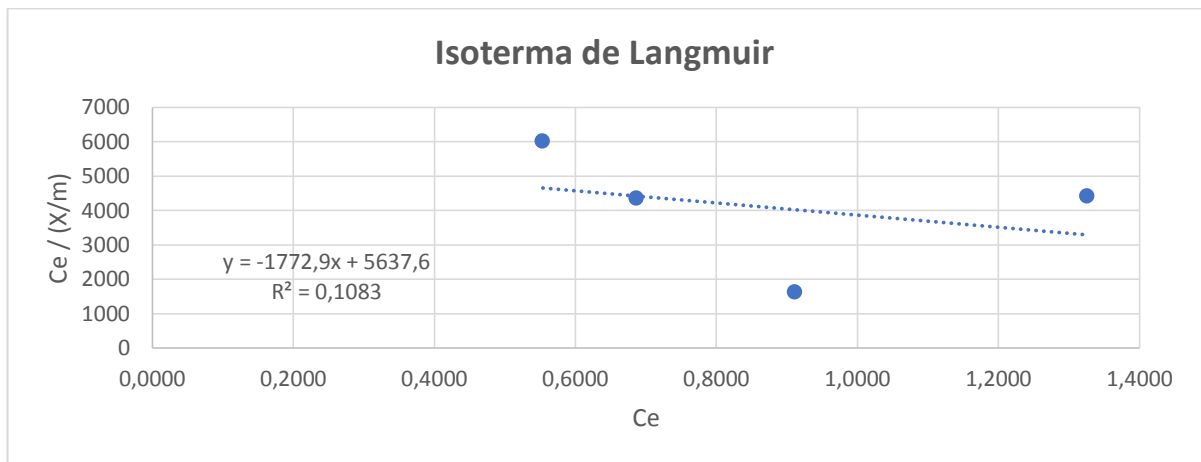
Isoterma de Langmuir carbón activado zeolita

<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	C_e	$X = C_o - C_e$	$q = X/m$	$C_e / (X/m)$
0	1.4766	0	-	-
0.5	1.3263	0.1503	0.000300526	4413.382659
1	0.9119	0.5647	0.000564682	1614.922527
5	0.6868	0.7898	0.000157969	4347.411361
10	0.5541	0.9225	9.22498×10^{-05}	6006.536806

Nota. Esta tabla detalla los valores obtenidos para el modelo matemático de Langmuir. Fuente: La investigación

Figura 30

Isoterma de Langmuir carbón activado zeolita



Nota. El gráfico representa la línea de tendencia del modelo matemático de Langmuir. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 30, el valor de R^2 fue de 0.1083 por ende, el modelo matemático propuesto no es adecuado para representar los datos experimentales. Se determinaron los valores de la forma lineal de la isoterma de Langmuir para el carbón activado zeolita:

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{b}C + \frac{1}{kb}$$

$$y = mx + b$$

$$\frac{1}{b} = -1772.9$$

$$\frac{1}{kb} = 5637.6$$

$$\text{Fuerza de unión} = k = -0.31$$

$$\text{Cantidad máxima adsorbida} = b = -0.000564048$$

Como se puede observar en las figuras 27 - 30, el modelo de Langmuir no se ajusta correctamente para el caso del carbón activado hazel y zeolita con un R^2 de 0.5575 y 0.1083 respectivamente. El carbón activado de coco y banano se ajustan muy bien al modelo de Langmuir, presentando un R^2 de 0.9274 y 0.8717 respectivamente. En el **anexo 2** se presenta una tabla resumen de los resultados del modelo de Langmuir.

4.3. Isoterma de adsorción de Freundlich

4.3.1. Carbón activado de coco

Tabla 28

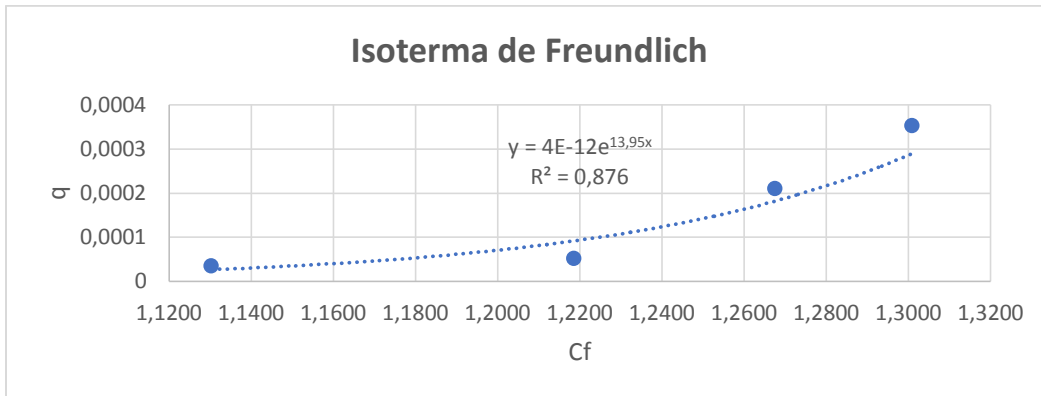
Isoterma de Freundlich carbón activado de coco

<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	<i>C_f</i>	<i>X = C_o - C_e</i>	<i>q = X/m</i>
0	1.4766	0	-
0.5	1.3010	0.1756	0.000351142
1	1.2676	0.2090	0.00020895
5	1.2187	0.2579	5.15786x10 ⁻⁰⁵
10	1.1304	0.3462	3.46167x10 ⁻⁰⁵

Nota. Esta tabla detalla los valores obtenidos para el modelo matemático de Freundlich. Fuente: La investigación

Figura 31

Isoterma de Freundlich carbón activado de coco



Nota. El gráfico representa la línea de tendencia del modelo matemático de Freundlich. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 31, el valor de R^2 fue de 0.9649 por ende, el modelo matemático propuesto es adecuado para representar los datos experimentales. Se determinó el valor de corrección de la forma lineal de la isoterma de Freundlich para el carbón activado de coco:

$$\frac{x}{m} = K C_f^{1/n}$$

Factor de corrección = $n = 0.07$

4.3.2. Carbón activado de banano

Tabla 29

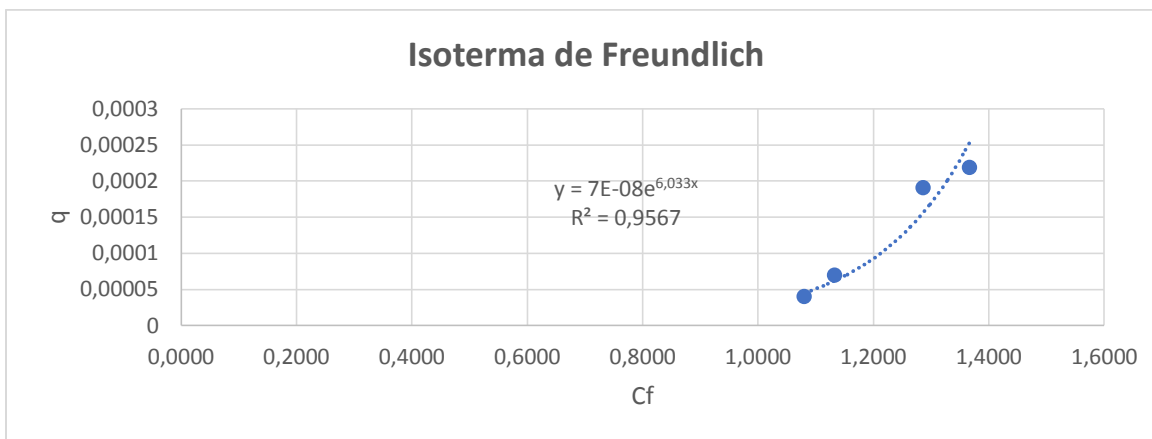
Isoterma de Freundlich carbón activado de banano

<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	<i>Cf</i>	<i>X = C_o - C_e</i>	<i>q = X/m</i>
0	1.4766	0	-
0.5	1.3675	0.1091	0.00021828
1	1.2868	0.1898	0.000189754
5	1.1338	0.3498	6.85531x10 ⁻⁰⁵
10	1.0807	0.3959	3.95946x10 ⁻⁰⁵

Nota. Esta tabla detalla los valores obtenidos para el modelo matemático de Freundlich. Fuente: La investigación

Figura 32

Isoterma de Freundlich carbón activado de banano



Nota. El gráfico representa la línea de tendencia del modelo matemático de Freundlich. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 32, el valor de R^2 fue de 0.913 por ende, el modelo matemático propuesto es adecuado para representar los datos experimentales. Se determinó el valor de corrección de la forma lineal de la isoterma de Freundlich para el carbón activado de banano:

$$\frac{x}{m} = KC_f^{1/n}$$

$$\text{Factor de corrección} = n = 0.17$$

4.3.3. Carbón activado hazel

Tabla 30

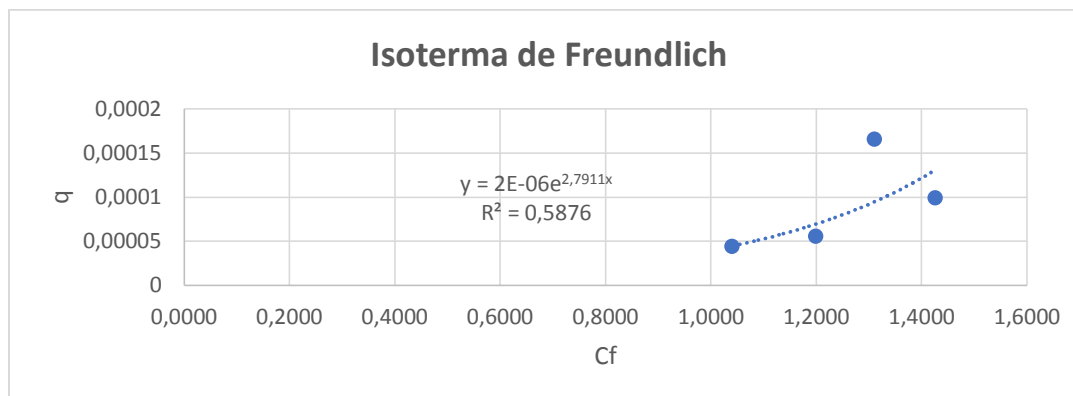
Isoterma de Freundlich carbón activado hazel

<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	<i>C_f</i>	<i>X = C_o - C_e</i>	<i>q = X/m</i>
0	1.4766	0	-
0.5	1.4274	0.0492	9.83154 x10 ⁻⁰⁵
1	1.3116	0.1650	0.000164986
5	1.2006	0.2760	5.52034x10 ⁻⁰⁵
10	1.0416	0.4350	4.34982x10 ⁻⁰⁵

Nota. Esta tabla detalla los valores obtenidos para el modelo matemático de Freundlich. Fuente: La investigación

Figura 33

Isoterma de Freundlich carbón activado hazel



Nota. El gráfico representa la línea de tendencia del modelo matemático de Freundlich. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 33, el valor de R^2 fue de 0.3375 por ende, el modelo matemático propuesto no es adecuado para representar los datos experimentales. Se determinó el valor de corrección de la forma lineal de la isoterma de Freundlich para el carbón activado hazel:

$$\frac{x}{m} = K C_f^{1/n}$$

Factor de corrección = n = 0.35

4.3.4. Carbón activado zeolita

Tabla 31

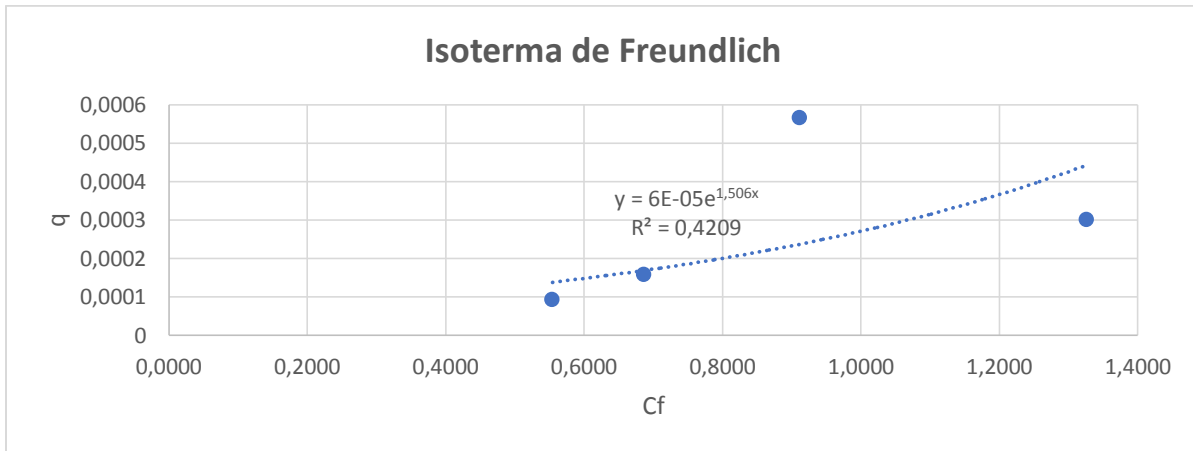
Isoterma de Freundlich carbón activado zeolita

<i>Cantidad de carbón activado (g)</i>	<i>Cf</i>	<i>X = C_o - C_e</i>	<i>q = X/m</i>
0	1.4766	0	-
0.5	1.3263	0.1503	0.000300526
1	0.9119	0.5647	0.000564682
5	0.6868	0.7898	0.000157969
10	0.5541	0.9225	9.22498x10 ⁻⁰⁵

Nota. Esta tabla detalla los valores obtenidos para el modelo matemático de Freundlich. Fuente: La investigación

Figura 34

Isoterma de Freundlich carbón activado zeolita



Nota. El gráfico representa la línea de tendencia del modelo matemático de Freundlich. Fuente: La investigación

Como se observa en la figura 34, el valor de R^2 fue de 0.1309 por ende, el modelo matemático propuesto no es adecuado para representar los datos experimentales. Se determinó el valor de corrección de la forma lineal de la isoterma de Freundlich para el carbón activado zeolita:

$$\frac{x}{m} = K C_f^{1/n}$$

$$\text{Factor de corrección} = n = 0.66$$

Como se puede observar en las figuras 31 - 34, para el modelo Freundlich ocurre lo mismo que en el modelo de Langmuir, es decir el modelo no se ajusta del todo bien, para el caso del carbón activado hazel y zeolita con un de R^2 de 0.3375 y 0.1309 respectivamente. El carbón activado de coco y banano se ajustan muy bien al modelo de Langmuir, el cual hemos presentado con una R^2 de 0.9649 y 0.913 respectivamente. Se determinó la constante n el cual indica el nivel favorable al que ha llegado la adsorción. La adsorción es correcta cuando n es

mayor a 1, mientras más alta sea esta constante, más favorable es el proceso de adsorción. En el **anexo 3** se presenta una tabla resumen de los resultados del modelo de Freundlich.

4.4. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico, se utilizó un nivel de significativa del 5% en base a las hipótesis planteadas anteriormente.

4.4.1. Carbón activado de coco

Tabla 32

Análisis de varianza del carbón activado de coco

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	16.76870916	1	16.76870916	1.72861406	0.236603766	5.987377607
Dentro de los grupos	58.20400129	6	9.700666881			
Total	74.97271045	7				

Nota. Esta tabla detalla el análisis de varianza (ANOVA) que existe en el carbón activado como método para la eliminación del ibuprofeno. Fuente: La investigación

En la tabla 32, se obtuvo un valor de **probabilidad** mayor a 0.05 y, como el valor de **F** es menor al del **Valor crítico**, se puede decir que la hipótesis no es significativa; es decir, la hipótesis se acepta puesto que sus medias son iguales, lo que significa que mediante diferentes tipos de carbón activado es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

Tabla 33

Prueba de Tukey carbón activado de coco

<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Media</i>	<i>Error estándar</i>	<i>Q estadístico</i>	<i>Más bajo</i>	<i>Más alto</i>	<i>Valor de p</i>	<i>Media crítica</i>	<i>D de Cohen</i>
0.5	1.301	4.12776667	1.84111237	2.24199605	-3.10044052	11.3559738	0.1880722	7.22820718	1.29441702

Nota. Análisis de varianza mediante la prueba de Tukey. Fuente: La investigación.

En la tabla 33, el valor de **p-value** es mayor a 0.05; por lo que la hipótesis no es significativa y, por lo tanto, se va a aceptar la hipótesis lo que significa que mediante diferentes tipos de carbón activado es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

4.4.2. Carbón activado de Banano

Tabla 34

Análisis de varianza del carbón activado de banano

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	368.1541125	1	368.1541125	7.588147332	0.03308702	5.987377607
Dentro de los grupos	291.101975	6	48.51699583			
Total	659.2560875	7				

Nota. Esta tabla detalla el análisis de varianza (ANOVA) que existe en el carbón activado como método para la eliminación del ibuprofeno. Fuente: La investigación

En la tabla 34, se obtuvo un valor de **probabilidad** menor a 0.05 y, como el valor de **F** es mayor al del **Valor crítico**, se puede decir que la hipótesis es significativa; es decir, la hipótesis se rechaza puesto que sus medias no son iguales, lo que significa que mediante diferentes tipos de carbón activado no es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

Tabla 35

Prueba de Tukey carbón activado de Banano

<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Media</i>	<i>Error estándar</i>	<i>Q estadístico</i>	<i>Más bajo</i>	<i>Más alto</i>	<i>Valor de p</i>	<i>Media crítica</i>	<i>D de Cohen</i>
0.5	7.9	15.6233333	3.48477323	4.48331421	1.94211364	29.304553	0.03385214	13.6812197	2.58844267

Nota. Análisis de varianza mediante la prueba de Tukey. Fuente: La investigación.

En la tabla 35, el **valor de p** es menor a 0.05; por lo que la hipótesis es significativa y, por lo tanto, se va a rechazar la hipótesis lo que significa que mediante diferentes tipos de carbón activado no es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

4.4.3. Carbón activado de Hazel

Tabla 36

Análisis de varianza del activado de hazel

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	266.2278125	1	266.2278125	3.714829364	0.102213531	5.987377607
Dentro de los grupos	429.997375	6	71.66622917			
Total	696.2251875	7				

Nota. Esta tabla detalla el análisis de varianza (ANOVA) que existe en el carbón activado como método para la eliminación del ibuprofeno. Fuente: La investigación

En la tabla 36, se obtuvo un valor de **probabilidad** mayor a 0.05 y, como el valor de **F** es menor al del **Valor crítico**, se puede decir que la hipótesis no es significativa; es decir, la hipótesis se acepta puesto que sus medias son iguales, lo que significa que mediante diferentes tipos de carbón activado es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

Tabla 37*Prueba de Tukey carbón activado de hazel*

<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Media</i>	<i>Error estándar</i>	<i>Q estadístico</i>	<i>Más bajo</i>	<i>Más alto</i>	<i>Valor de p</i>	<i>Media crítica</i>	<i>D de Cohen</i>
0.5	3.33	14.44	4.18020268	3.45437796	-1.97147572	30.8514757	0.07100821	16.4114757	1.99438604

Nota. Análisis de varianza mediante la prueba de Tukey. Fuente: La investigación.

En la tabla 37, el **valor de p** es mayor a 0.05; por lo que la hipótesis no es significativa y, por lo tanto, se va a aceptar la hipótesis lo que significa que mediante diferentes tipos de carbón activado es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

4.4.4. Carbón activado de Zeolita

Tabla 38*Análisis de varianza del carbón activado de zeolita*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2733.192113	1	2733.192113	10.04098951	0.019349308	5.987377607
Dentro de los grupos	1633.220775	6	272.2034625			
Total	4366.412888	7				

Nota. Esta tabla detalla el análisis de varianza (ANOVA) que existe en el carbón activado como método para la eliminación del ibuprofeno. Fuente: La investigación

En la tabla 38, se obtuvo un valor de **probabilidad** mayor a 0.05 y, como el valor de **F** es menor al del **Valor crítico**, se puede decir que la hipótesis no es significativa; es decir, la hipótesis se acepta puesto que sus medias son iguales, lo que significa que mediante diferentes tipos de carbón activado es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

Tabla 39

Prueba de Tukey carbón activado zeolita

<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Media</i>	<i>Error estándar</i>	<i>Q estadístico</i>	<i>Más bajo</i>	<i>Más alto</i>	<i>Valor de p</i>	<i>Media crítica</i>	<i>D de Cohen</i>
0.5	10.17	46.0666667	5.32889346	8.6446965	25.1454309	66.9879024	0.00362659	20.9212357	4.99101785

Nota. Análisis de varianza mediante la prueba de Tukey. Fuente: La investigación.

En la tabla 39, el **valor de value** es mayor a 0.05; por lo que la hipótesis no es significativa y, por lo tanto, se va a aceptar la hipótesis lo que significa que mediante diferentes tipos de carbón activado es posible determinar el mejor sistema de adsorción óptimo para la remoción de ibuprofeno en el HPLC.

Tabla 40

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	16	66	4,125	15,5166667
Columna 2	16	3925205	245325,3125	1,0343E+10
Columna 3	16	18,2469	1,14043125	0,05907612
Columna 4	16	361,22	22,57625	268,854305

Nota. Esta tabla es un análisis de datos resumen. Fuente: La investigación

Tabla 41*Análisis de varianza de resultados*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	7,22159E+11	3	2,4072E+11	93,092821	1,5257E-22	2,7580783
Dentro de los grupos	1,55148E+11	60	2585804371			
Total	8,77308E+11	63				

Nota. Análisis de varianza. Fuente: La investigación

4.5. Diseño de filtro de carbón activado

4.5.1. Cálculo de caudal óptimo

Los cálculos realizados se basan en la relación óptima de agua:carbón activado, características del carbón activado seleccionado, para lo cual se determinó el caudal óptimo de trabajo por gramo de carbón activado para el diseño de un filtro de carbón activado.

Tabla 42

Características carbón activado zeolita para diseño de filtro de carbón activado

<i>Características</i>	<i>Carbón activado zeolita</i>
Origen de materia prima	Natural
Tipo de activación	Física
Área superficial (m ² /g)	25
Volumen medio de poro (cm ³ /g)	0.0145
Volumen de microporos (cm ³ /g)	0.0089
Densidad aparente (g/cm ³)	0.88
Tamaño de malla	14x40
Relación agua:carbón activado	10:1

Nota. Se describe las características del carbón activado zeolita. Tomado de Carbotecnia (2022).

Tabla 43

Datos referentes al valor óptimo agua: carbón activado

<i>Dato</i>	<i>Valor</i>
Tiempo de contacto (min)	15
Porcentaje de remoción	91
Cantidad de agua óptima (ml)	1000
Cantidad de carbón activado óptima (gr)	10
Caudal óptimo por gramo de carbón activado (ml/min gr CA)	6.67

Nota. Se describe los valores referentes para el diseño de un filtro de carbón activado. Fuente: La investigación.

Para el cálculo del caudal óptimo se empleó la siguiente expresión (Valencia López, 2013):

$$Q = \frac{\text{Cantidad de agua óptima (ml)}}{\text{Tiempo de contacto (min)} * \text{Cantidad de carbón activo óptima (gr)}}$$

Ecuación 7 Caudal óptimo

Fuente: (Valencia López, 2013)

$$Q = \frac{1000 \text{ ml}}{15 \text{ min} * 10 \text{ gr CA}} = 6,67 \frac{\text{ml}}{\text{min gr CA}}$$

4.5.2. Dimensionamiento de filtro de carbón activado

Para un mejor dimensionamiento la altura de lecho determinado fue el doble del diámetro del tubo, por lo cual para los 10 gramos de carbón activo óptimo se determinó un tubo de 4 pulgadas de diámetro en acero inoxidable.

4.5.3. Caso diseño experimental de filtro

Figura 35

Funcionamiento por tubería de adsorción

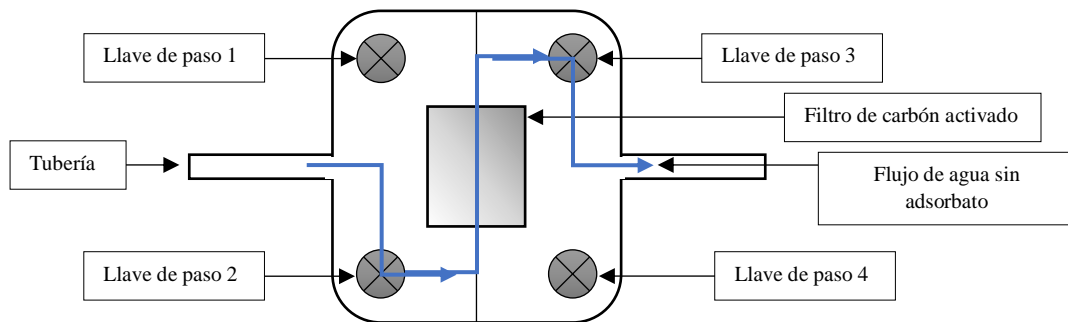


Tabla 44.

Tabla de tuberías para adsorción y desorción del agua residual

	Llave 1	Llave 2	Llave 3	Llave 4
Adsorción	X	O	O	X
Desorción	O	X	X	O

Nota: Llave abierta "O", llave cerrada "X". Fuente: La investigación.

Se planteó un caso con valores apegados a la realidad con condiciones en las que se trabajarán de manera experimental en el presente proyecto. Para lo cual se determinó una velocidad de flujo de $0.03 \frac{m}{min}$, un nivel saturado de $0.036 \frac{ssf}{kg}$, caudal de $100 \frac{m^3}{día}$, una cantidad de sólidos suspendidos fijos de $0.01 \frac{g}{l}$, un diámetro de tubo de 4 pulgadas y una densidad de lecho filtrante de $1,5 \frac{kg}{l}$. Una vez determinados los valores se procedió a obtener la cantidad de filtros que se colocara en el tubo, los litros totales por día y su longitud; contando con un mantenimiento cada cuatro días.

Dónde:

Velocidad de flujo: v_{flujo}

Caudal: Q

Sólidos suspendidos fijos: ssf

Densidad de lecho filtrante: $\delta_{lecho filtrante}$

Área: A

Longitud: L

$$v_{flujo} = 0.03 \frac{m}{min}$$

$$Nivel saturado = 0.036 \frac{ssf}{kg}$$

$$Q = 100 \frac{m^3}{día}$$

$$ssf = 0.01 \frac{g}{l}$$

$$tub = 4"$$

¿Cuántos filtros se pone?

$$L = ?$$

Mantenimiento 4 días

$$\delta_{\text{lecho filtrante}} = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{100 \text{ m}^3 \cdot \text{min}}{\text{día} \cdot 0,03 \text{ m}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}} = 2,31 \text{ m}^2$$

$$\frac{A}{\text{filtro}} = \frac{\pi \cdot (0,1)^2}{4} = 0,00785 \text{ m}^2$$

$$\frac{A}{A_{\text{filtro}}} = \frac{2,31 \text{ m}^2}{0,00785 \text{ m}^2} = 294 \text{ filtros} = 300 \text{ filtros aproximadamente}$$

$$V_f = 4 \text{ día} \cdot \frac{100 \text{ m}^3 \text{ A}}{\text{día}} \cdot \frac{0,01 \text{ g}_{\text{ssf}}}{\text{l}_A} \cdot \frac{1000 \text{ l}_A}{1 \text{ m}^3 \text{ A}} \cdot \frac{1 \text{ kg}_f(\text{filtración})}{0,036 \text{ g}_{\text{ssf}}} \cdot \frac{0,001 \text{ m}^3 \text{ f}}{1,5 \text{ kg}_f(\text{filtración})} = 74 \text{ m}^3$$

$$l = \frac{V_f(4)}{300 \cdot \pi \cdot (0,1)^2} = \frac{74(4)}{300 \cdot \pi \cdot (0,1)^2}$$

$$l = \frac{V_f(4)}{300(0,00785 \text{ m}^2)} = \frac{74(4)}{300(0,00785 \text{ m}^2)} = 31,4 \text{ m}$$

Figura 36.

Funcionamiento por tubería de desorción

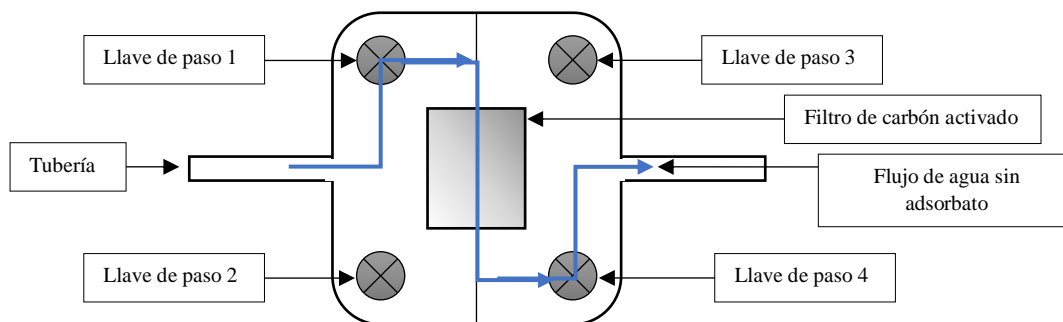


Tabla 45

Eficiencia del filtro de carbono por uso

Uso (%)	Eficiencia del (%)
100	80
80	64
64	51
51	40

Nota. Se describe los valores de uso vs eficiencia del filtro de carbón activado. Fuente: La investigación

Tabla 46

Tiempo de renovación de carbon activado por cada lavada

Número de lavadas	Número de horas
0	96
1	76,8
2	61,44
3	49,15
4	39,32
5	31,46
6	25,17
7	20,13
Σ =	399.47 hrs

Nota. Se describe los valores de uso vs eficiencia del filtro de carbón activado. Fuente: La investigación

Obtenemos un total de 399.47 horas que dan un total de 17 días de funcionamiento del carbón activado antes de su cambio o renovación.

El carbón activado es un material carbonoso, microcristalino y no grafítico, resultado de la reacción con gases oxidantes como CO₂, aire, vapor de agua o mediante un tratamiento con adición de un producto químico en la etapa de carbonización para aumentar su porosidad (Vayas Torres, 2017). Mario Requena Molina autor de la investigación “*Diseño de un sistema combinado de carbón activo y reactor biológico secuencial para eliminación de compuestos farmacéuticos presentes en aguas residuales urbanas*” realizado en la ciudad de Valencia, España en el año de 2017 determinó que a mayor cantidad de carbón activado el porcentaje de eliminación del ibuprofeno es del 100 % en concentraciones superiores a 0.1 g/L de adsorbente, empleando concentraciones de 0.02, 0.05 y 0.1 g de adsorbente en 500 mL de agua residual, a una velocidad de agitación de 120 rpm y una temperatura de 21 °C, obteniendo como resultados un 54.68, 93.70 y 96.10 % de remoción de ibuprofeno respectivamente, corroborando los resultados obtenidos en la presente investigación donde se empleó 0.5, 1, 5 y 10 g de adsorbente en 1000 mL de agua residual con un proceso de

agitación de 270 rpm y 60 °C, obteniendo para el caso del carbón activado zeolita 10.17, 38.24, 53.49 y 62.47 % de remoción de ibuprofeno respectivamente.

Para el modelo de Langmuir, Mario Requena Molina señala que no se ajusta correctamente el ibuprofeno con un R^2 de 0.25 asemejando lo determinado en la presente investigación donde para el carbón activado de hazel y zeolita no se ajustaron correctamente. Con respecto al parámetro característico K_L de la isoterma para el caso del ibuprofeno en la presente investigación los valores determinados fueron menor a 0 para los cuatro tipos de carbón activado empleados, a comparación de la investigación de Requena Molina donde se obtuvieron valores de 0.35, 0.17, 0.3 para la cafeína, acetaminofén y diacepán respectivamente.

Para el modelo de Freundlich ocurre prácticamente lo mismo el carbón activado de coco y banano se ajustan correctamente con un R^2 de 0.9649 y 0.913 respectivamente, lo cual no sucede con el carbón activado de hazel y zeolita. En la investigación realizada por Pacheco Quintero Anllelo Renato (2021), titulado *“Evaluación de la remoción del tinte capilar azul plata en una muestra de agua utilizando carbón activado obtenido a partir de cáscaras de bananas”*, se señala que los porcentajes de remoción alcanzados fueron del 85 % hasta el 100 %, determinando que el carbón activado de cáscaras de banano es un material adsorbente eficiente para la remoción del tinte capilar, debido que la cáscara de banano contiene sustancias como el hidroxilo y el carboxilo de pectina, con carga negativa lo que le hace capaz de atraer los iones positivos de los metales pesados, donde, en la presente investigación se determinó que el carbón activado de banano no actuó como un buen material adsorbente para el ibuprofeno alcanzando porcentajes de remoción del 7.39 % hasta el 26.81 %.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó que el carbón activado zeolita fue el más favorable para el proceso de adsorción de ibuprofeno con un porcentaje de remoción máxima de ibuprofeno de 62.47 %, una concentración final de 0.5541 ppm y una concentración inicial de 1.4766 ppm.
- Se determinó que el carbón activado de coco fue el menos favorable para el proceso de adsorción de ibuprofeno con un porcentaje de remoción máximo de 23.44 % y una concentración final de 1.1304 ppm.
- Se determinó las constantes del modelo de adsorción de Langmuir para el carbón activado de coco $k = -0.76, b = -5.51 \times 10^{-06}$. Para el modelo de adsorción de Freundlich las constantes determinadas fue de $n = 0.07$.
- Se determinó las constantes del modelo de adsorción de Langmuir para el carbón activado de banano $k = -0.70, b = -1.43622 \times 10^{-05}$. Para el modelo de adsorción de Freundlich las constantes determinadas fue de $n = 0.17$.
- Se determinó las constantes del modelo de adsorción de Langmuir para el carbón activado de hazel $k = -0.57, b = -3.02554 \times 10^{-05}$. Para el modelo de adsorción de Freundlich las constantes determinadas fue de $n = 0.36$.
- Se determinó las constantes del modelo de adsorción de Langmuir para el carbón activado de zeolita $k = -0.31, b = -0.000564048$. Para el modelo de adsorción de Freundlich las constantes determinadas fue de $n = 0.66$.

- El carbón activado de coco y banano se ajustó correctamente al modelo de adsorción de Langmuir con un R^2 de 0.9274 y 0.8717 respectivamente, todo lo contrario, para el carbón activado hazel y zeolita que presentaron un R^2 de 0.5575 y 0.1083 respectivamente.
- El carbón activado de coco y banano se ajustó correctamente al modelo Freundlich con un R^2 de 0.9649 y 0.913 respectivamente, para el carbón activado de hazel y zeolita el modelo no se ajustaron correctamente con un R^2 de 0.3375 y 0.1309 respectivamente.

5.2. Recomendaciones

- Realizar adicionalmente el análisis para determinar la velocidad de adsorción, tiempo y grado de saturación del carbón activado.
- Verificar la capacidad de remoción del carbón activado en aguas residuales con presencia de pesticidas, sólidos suspendidos y otros metales.
- Combinar el carbón activado analizado en la investigación con otro tipo de material filtrante para mejorar la capacidad de remoción.
- Realizar un análisis empleando el modelo de adsorción de Temkin, para verificar si los resultados se ajustan correctamente.

6. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios. (2021, febrero). *CIMA*. Obtenido de https://cima.aemps.es/cima/dochtml/ft/67069/FichaTecnica_67069.html#:~:text=Ibuprofeno%20es%20un%20compuesto%20no,de%20la%20s%C3%ADntesis%20de%20prostaglandinas.

Aguilar Martínez, R. (2010). *Universidad Complutense de Madrid*. Obtenido de Facultad de Ciencias Químicas: <https://eprints.ucm.es/10912/1/T31819.pdf>

Calderón Benavides, A. M., López Juárez, V. E., y Siete Guardado, C. E. (2016). *Estudio comparativo de la aplicación de zeolita activada y carbón activado en el tratamiento de aguas residuales de la fabricación de pinturas base agua*. Universitaria: Universidad de El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/12509/1/Estudio%20comparativo%20de%20la%20aplicaci%C3%B3n%20de%20Zeolita%20activada%20y%20Carb%C3%B3n%20activado%20en%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20de%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20pinturas%20base%20agua.pdf>

Cerón Pánchig, C. H., y Landeta Jibaja, K. S. (2020). *Identificación experimental de la concentración de pesticidas en el agua mediante muestradores pasivos POCIS y SPMD a nivel de laboratorio*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

Eraso Guerrero, E. G., y Quenguan Cuaran, F. E. (2015). *Determinación de plaguicidas organofosforados y carbamatos en agua para consumo humano del departamento de Nariño mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC-VWD)*. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto. Obtenido de <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90897.pdf>

FACMED. (2007, agosto 03). *Catálogo de Medicamentos Genéricos*. Obtenido de http://www.facmed.unam.mx/bmnd/gi_2k8/prods/PRODS/Ibuprofeno.htm

Gallegos Flores, J. P., y Medina Parra, X. S. (2019). *Determinación de pesticidas y calidad de agua de efluentes de florícolas en la zona de Cayambe*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16708/1/UPS-ST003886.pdf>

Hernández Hernández, E. (2013). *Análisis de contaminantes emergentes de tipo farmacéutico (acetaminofeno, cafeína, dexketoprofeno, diclofenaco sódico, fenilefrina e ibuprofeno) en el agua del río Las Vacas (Municipio de Guatemala) y río Villalobos (Municipio de Amatitlán)*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/Q212.pdf>

Martínez de Yuso Ariza, A. (2012). *Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano*. Villanueva de Gállego: Instituto de Carboquímica. Obtenido de

https://digital.csic.es/bitstream/10261/74991/1/Tesis%20Martinez%20de%20Yuso_A_rep ositorio%20CSIC.pdf

Navarrete Aguirre, D. F., Quijano Arteaga, N. R., y Vélez Sancán, C. D. (2014). *Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/29845/D-70080.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Penedo Medina, M., Manals Cutiño, E. M., Vendrell Calzadilla, F., y Salas Tort, D. (2014). *Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco*. Santiago de Cuba: Universidad de Oriente. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v35n1/rtq10115.pdf>

Quesada Peñate, I., y Jáurequi Haza, W. (2009). *Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos. Estrategias para enfrentar la problemática*. Cuba: CENIC. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181221662005.pdf>

Ramírez Guerra, C. A. (2019). *El Carbón activado para el tratamiento del agua*. Sonora: BIDI. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/capitulo1.pdf>

Requena Molina, M. (2018). *Diseño de un sistema combinado de carbón activado y reactor biológico secuencial para eliminación de compuestos farmacéuticos presentes en aguas residuales urbanas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/108813/48643357J_TFG_15362548886572432061646700895897.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Shalini, L. (2019, julio). *Manual MSD*. Obtenido de <https://www.msmanuals.com/es-ec/hogar/f%C3%A1rmacos-o-sustancias/introducci%C3%B3n-a-los-f%C3%A1rmacos/introducci%C3%B3n-a-los-f%C3%A1rmacos>

Tait, K. (2012). *Industria farmacéutica*. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+79.+Industria+farmac%C3%A9utica>

Valencia López, A. E. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>

Vallejo Bravo, R. (2017). *Evaluación de la eficiencia de la oxidación avanzada para la descontaminación de efluentes con ibuprofeno y paracetamol a escala de laboratorio*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14901/1/UPS%20-%20ST003291.pdf>

Vayas Torres, J. M. (2017). *Análisis del carbón activado de origen vegetal con las costras de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la textilera "Andelas" CIA LTDA, ubicada en el parque industrial de Ambato, provincia de Tungurahua*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Vite Vera, F., y Párraga Fernández, J. (2019). *Análisis de la concentración de mercado del sector de elaboración de sustancias farmacéuticas en Ecuador. Período 2010-2017*. Guayaquil: X-Pedientes Económicos.

7. ANEXOS

Anexo 1 Resumen de los resultados de las concentraciones de ibuprofeno para cada tipo de carbón activado.

Resumen de las concentraciones de ibuprofeno obtenidas para cada tipo de carbón activado

<i>Tipo de carbón activado</i>	<i>Cantidad de adsorbente (g)</i>	<i>Concentración (ppm)</i>	<i>Porcentaje de eliminación (%)</i>
Muestra inicial	-	1.4766	-
Carbón activado de coco	0.5	1.3010	11.89
	1	1.2676	14.15
	5	1.2187	17.46
	10	1.1304	23.44
Carbón activado de banano	0.5	1.3675	7.39
	1	1.2868	12.85
	5	1.1338	23.21
	10	1.0807	26.81
Carbón activado hazel	0.5	1.4274	3.33
	1	1.3116	11.17
	5	1.2006	18.69
	10	1.0416	29.46
Carbón activado zeolita	0.5	1.3263	10.17
	1	0.9119	38.24
	5	0.6868	53.49
	10	0.5541	62.47

Nota. Esta tabla muestra los resultados de las concentraciones de ibuprofeno obtenidos para cada tipo de carbón activado. Fuente: La investigación

Anexo 2 Resumen de los resultados del modelo de adsorción de Langmuir.

Resumen de los resultados del modelo de adsorción de Langmuir

<i>Tipo de carbón activado</i>	<i>R²</i>	<i>K</i>	<i>b</i>
Muestra inicial	-	-	-
Carbón activado de coco	0.9274	-0.76	-5.51x10 ⁻⁰⁶
Carbón activado de banano	0.8717	-0.70	-1.43622x10 ⁻⁰⁵
Carbón activado hazel	0.5575	-0.57	-3.02554x10 ⁻⁰⁵
Carbón activado zeolita	0.1083	-0.31	-0.000564048

Nota. Esta tabla muestra un resumen de los resultados obtenidos del modelo de adsorción de Langmuir. K: fuerza de unión, b: cantidad máxima adsorbida. Fuente: La investigación.

Anexo 3 Resumen de los resultados del modelo de adsorción de Freundlich.

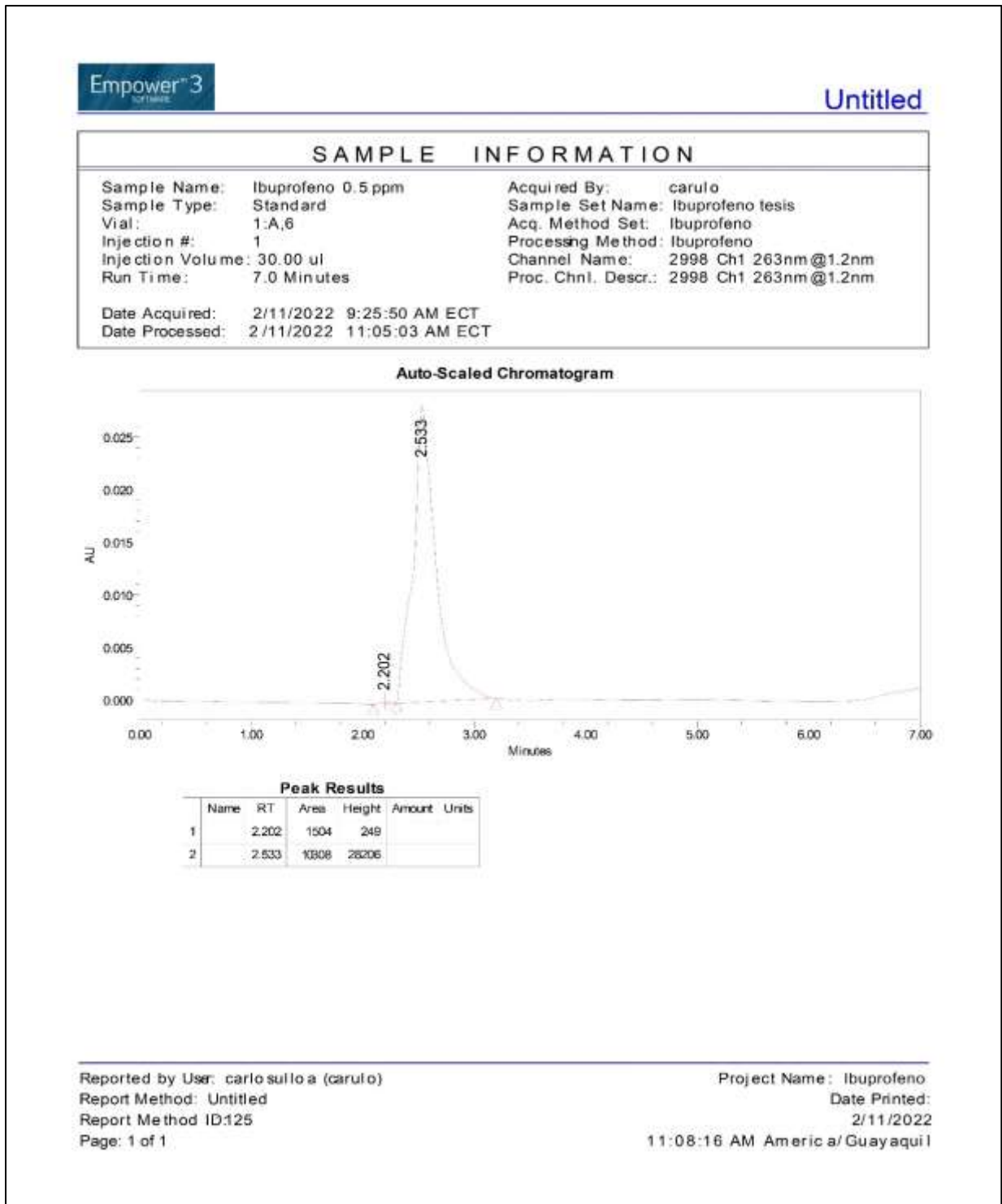
Resumen de los resultados del modelo de adsorción de Freundlich

<i>Tipo de carbón activado</i>	<i>R²</i>	<i>n</i>
Muestra inicial	-	-
Carbón activado de coco	0.9649	0.07
Carbón activado de banano	0.913	0.17
Carbón activado hazel	0.3375	0.36
Carbón activado zeolita	0.1309	0.66

Nota. Esta tabla muestra un resumen de los resultados obtenidos del modelo de adsorción de Freundlich. n: factor de corrección. Fuente: La investigación.

Anexo 4 Reportes HPLC

Reporte HPLC estándar 0.5 ppm ibuprofeno



Fuente: La investigación

