



Vigilada Mineducación

Adsorción de un compuesto activo farmacéutico (PhACs)  
utilizando biocarbón activado elaborado con *Eichhornia  
crassipes*

MARIANA GIRALDO LOPEZ, VALENTINA VALLEJO POSADA

Proyecto de grado

Asesor, docente

María Catalina Rojas Cely

UNIVERSIDAD EAFIT

Escuela de Ingeniería y ciencias aplicadas.

Ingeniería de procesos.

Medellín, Colombia.

# Adsorción de un compuesto activo farmacéutico (PhACs) utilizando biocarbón activado elaborado con *Eichhornia crassipes*

Mariana Giraldo López 1<sup>a</sup>, Valentina Vallejo Posada 2<sup>a</sup>,

Maria Catalina Rojas Cely<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Estudiante de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, Medellín Colombia

<sup>b</sup> Profesor, Asesor del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

---

## Resumen

Los compuestos activos farmacéuticos (PhACs) se utilizan ampliamente por los seres humanos, entre uso personal o veterinario y como consecuencia, en los últimos años, se ha presentado un aumento en las concentraciones de estos catalogándolos como contaminantes emergentes (CE), generándose una situación alarmante por la limitada información de los impactos generados por estos PhACs y la baja eficiencia en su remoción en los sistemas de tratamientos de aguas. Con base en esta situación se evalúa el desarrollo de un biocarbón activado aprovechando las propiedades del jacinto de agua (WJ) como adsorbente natural, con la expectativa de obtener una remoción de los PhACs, en este caso acetaminofén, de los recursos hídricos y determinar la capacidad de adsorción del biocarbón. Se desarrolló el biocarbón implementando el método de activación químico-físico, realizando una impregnación de  $H_3PO_4$  al 30% con una proporción de 1:4 (p/p) durante 24 horas y sometiendo el material a temperaturas superiores a 110°C en distintos intervalos de tiempo. La adsorción fue llevada a cabo utilizando una solución problema de 1200 ml de agua y 964.8 mg de acetaminofén dividida en 6 partes de 200 ml a las cuales se les adicionaron 10 g de biocarbón con tiempos de contacto de 20, 40, 60, 80, 90 y 100 minutos. Todos los experimentos se realizaron por duplicado.

Al final de la experiencia se analizó por HPLC la capacidad de remoción del adsorbente, obteniendo porcentajes de adsorción de acetaminofén del 12.6196% en promedio, también se realiza la medición del pH observando cambios inferiores a 0.09 con respecto al pH inicial en las muestras, equivalentes a 6.11 y 6.09. Los resultados obtenidos comprueban la capacidad adsorptiva del biocarbón desarrollado a partir de jacinto de agua, además, se analiza que el pH y el tiempo de contacto no influyen significativamente en el proceso de adsorción.

## Introducción

En los últimos años los compuestos activos farmacéuticos (PhACs) se han convertido en contaminantes emergentes (CE) debido a su alto consumo y fácil dispersión. A pesar de que llevan décadas ingresando al medio ambiente el conocimiento sobre las consecuencias que se pueden presentar por su presencia en los diferentes ecosistemas y recursos hídricos es bastante limitado [1]. Estos CE se caracterizan por estar presentes en el ambiente en concentraciones de  $\mu\text{g/L}$  o  $\text{ng/L}$  y se relacionan principalmente con efectos de toxicidad a largo plazo y disrupción endocrina en los seres vivos, lo cual compromete tanto la vida acuática como la salud humana.

La presencia de PhACs en los recursos hídricos se ha atribuido principalmente a que se estima que el consumo de fármacos a nivel mundial se encuentra entre cien mil y doscientos mil toneladas por año entre uso humano y veterinario. Por otra parte, se considera que el 90% de los medicamentos orales consumidos por los seres humanos, no se metabolizan completamente y son liberados en aguas residuales por medio de heces y orina [2], además de que se tiene una baja eficiencia de los sistemas de tratamientos de aguas convencionales en la eliminación de contaminantes. En Colombia se tiene una situación alarmante ya que solo el 36% de las aguas residuales domésticas urbanas son tratadas y hasta ahora las eficiencias reportadas en estos procesos han sido del 70% para la eliminación de medicamentos como el diclofenaco y del 25% para el diazepam y naproxeno, y con muy bajas eficiencias de eliminación en el caso de la carbamazepina, el acetaminofén y el ibuprofeno [3].

Aunque la principal vía de entrada de los productos farmacéuticos a los sistemas acuáticos es por medio de las aguas residuales domésticas, también las plantas de tratamiento de agua potable poseen una eficiencia de remoción limitada para varios fármacos, que son descargados en los efluentes y contribuyen a la contaminación de las aguas superficiales, las aguas subterráneas y agua potable [4]. En América Latina se cuenta con poca información acerca de los CE y en Colombia, solo ciudades como Medellín, Bogotá y Barranquilla cuentan con investigaciones de este tipo, determinando que uno de los compuestos farmacéuticos que se encuentra en mayor cantidad en las aguas residuales es el acetaminofén, presentándose a concentración de 50 µg/L. [5]

Por lo mencionado anteriormente, en la actualidad, la búsqueda de alternativas para el tratamiento de aguas residuales que permitan mejorar la eliminación de estos CE se ha convertido en un tema de gran interés a nivel investigativo y con base a esto se han desarrollado sistemas implementando encapsulados, reactores e incluso carbón activado como opciones para el tratamiento. El carbón activado ha sido una de las alternativas más exploradas ya que se ha propuesto su desarrollo a partir de biomásas para el aprovechamiento de residuos y la eliminación de diferentes contaminantes del agua, aportando a la sostenibilidad.

El jacinto de agua (WJ) es una planta de tallo alargado y horizontal, con hojas redondas y una raíz fibrosa, capaz de colonizar una superficie hídrica en poco tiempo, impidiendo la navegación y el crecimiento de otras plantas, de allí la importancia del control sobre su proliferación [6]. Una de las biomásas más explotadas para el desarrollo de carbón activado ha sido la proveniente de la *Eichhornia crassipes* (WJ), la cual, como se mencionó anteriormente, es una planta acuática invasora debido a que se reproduce rápidamente afectando de manera negativa los ecosistemas y ciertas actividades humanas como la acuicultura. En la actualidad, son removidos de manera mecánica y se realiza una disposición final para evitar su propagación. Sin embargo, los WJ tienen grandes propiedades como depuradores de agua presentando una gran capacidad para la remoción de metales pesados y compuestos orgánicos [7].

En el tratamiento de aguas contaminadas con catecol se encontró que en una solución de 100 mg / L de catecol tratada con 1.5 g de biocarbón activado a pH de 4.0 y 35°C de temperatura se logra una adsorción del 82% de catecol contenido en la muestra [8]. En otros estudios el carbón activado multifuncional fue derivado de la raíz de la *Eichhornia crassipes* y se utilizó para eliminar las fluoroquinolonas ciprofloxacina (CIP) y norfloxacina (NOR) del agua implementando adsorción por lotes y en columna, obteniendo que la cantidad adsorbida aumentó significativamente (CIP de 48.9 a 78.4 mg/g y NOR de 59.4 a 75.0 mg/g) con pH de 2.0 a 4.0 y luego disminuyeron considerablemente (CIP de 78.4 a 48.7 mg/g y NOR de 75.0 a 52.4 mg/g) cuando se implementó un pH de 4 a 10 en el caso de la adsorción en lotes. Se concluyó para ambos experimentos (por lotes y en columna) que el carbón activado realizado a partir del jacinto de agua tenía una excelente capacidad de adsorción para fluoroquinolonas en medio acuoso [9].

En las investigaciones recientes se tiene información muy limitada de la efectividad del biocarbón activado realizado a partir de WJ para remoción de los PhACs, a pesar de que se tienen buenos resultados en la eliminación de otros compuestos orgánicos. Por lo que, evaluar la capacidad de esta planta como adsorbente de los PhACs, en este caso del acetaminofén, podría dar lugar a una alternativa más eficiente tanto para la disposición final del WJ como para el tratamiento de aguas contaminadas.

## **1. Materiales y métodos**

Inicialmente se obtuvieron los jacintos de agua (WJ) del embalse localizado en el municipio del Peñol, Antioquia y fueron transportados hasta la universidad EAFIT en donde se comenzó con la preparación de las plantas. En esta primera etapa del proceso se tomaron los WJ y se eliminaron las raíces de la planta, puesto que solo se requerían sus tallos y hojas. Estas raíces fueron dispuestas para ser utilizadas como insumo para realizar compost en otros proyectos. El total de masa utilizado de buchón de agua después de remover las raíces fueron 2913.4 gramos y tras realizar el pesaje del material se tomaron los tallos y las hojas del WJ y se lavaron cuidadosamente cuidando que se retirara todo el excedente de tierra que pudiesen tener tras la remoción de las raíces.

Una vez limpiadas las plantas se dejaron secar al sol durante 24 horas para comenzar el proceso de deshidratación del WJ, pasado este tiempo se tomaron los jacintos y se cortaron implementando tijeras en trozos pequeños, de aproximadamente 2 cm, para ser llevados al horno a 110°C durante 24 horas para finalizar con el proceso de deshidratación de los tallos y hojas ahora en pedazos. Luego de transcurrido este tiempo se tomó la muestra de jacinto de agua ya seco y se llevó a la trituradora de cuchillas para volver fino el material, tras este proceso se utilizó un tamiz malla 30 y se agitó durante 10 minutos [10], en dicho tamizaje el producto de interés era lo recolectado en el colector. Se pesó el material seco obteniendo un valor de 129.6 gramos.

Para el desarrollo del biocarbón activo se implementó el método de activación químico-físico. Inicialmente se llevó la muestra al horno a una temperatura de 400°C durante 60 minutos, luego se preparó una solución de  $H_3PO_4$  al 30% para realizar la impregnación de la muestra bajo una relación de 1:4 (p/p) durante 24 horas. Pasadas las 24 horas se tomó la muestra y se filtró para retirar el líquido excedente y posteriormente fue lavada con NaOH a concentración de 1M, tras el lavado con la base se llevó la muestra a una mufla a 600°C durante una hora [10], el proceso fue realizado en batches debido a la capacidad restringida de la mufla; realizar esta etapa de la activación por lotes debido a las limitaciones del equipo puede alterar las propiedades finales del biocarbón esperadas y por consiguiente afectar los resultados obtenidos tras realizada la adsorción. Transcurrido el tiempo, se enjuagó nuevamente la muestra, esta vez utilizando agua destilada a pH de 7; se repitió este proceso de lavado con agua 3 veces. Finalmente, se llevó la muestra al horno durante un periodo de 24 horas a 110°C para secarla y obtener como producto final el biocarbón activo a partir de las hojas y tallos de *Eichornia Crassipes* [10]. Se almacenó el biocarbón en una bandeja metálica hasta el momento de ser necesitado para las pruebas.

La preparación de la solución que fue utilizada para realizar la saturación con el biocarbón activo se hizo implementando agua del grifo y 964.8 mg de acetaminofén de la farmacéutica American Generics, dicha solución se preparó partiendo del hecho de que se necesitaba una concentración de 0.05 M para poder lograr la saturación [11]. En total, se prepararon 1200 ml de la solución madre y a esta se le realizó una réplica para validar sus resultados, también se tomó el pH inicial de cada una de las soluciones problema. Se dividió la solución en 6 muestras de 200 ml (en total se tenían 12 muestras debido a que cada una de ellas tenía un duplicado) para poner 10 gramos del biocarbón en cada beaker con la solución de acetaminofén. Se llevaron las muestras a agitación bajo los siguientes parámetros: 150 rpm y temperatura ambiente, durante 20, 40, 60, 80, 90 y 100 minutos [11]. Posteriormente, se filtraron las muestras para separar el sólido del líquido y poder efectuar el análisis instrumental correspondiente al fluido. Todos los experimentos fueron realizados por duplicado.

Una vez concluido el proceso de adsorción se determinó el pH de la solución residual filtrada haciendo uso de un pHmetro y se realizó el análisis cromatográfico por HPLC para cuantificar las concentraciones residuales de acetaminofén en la solución utilizando la columna Hamilton PRP-1 (5  $\mu$ m, 150 x 4,1 mm), una fase móvil compuesta por acetonitrilo: metanol: agua (10:20:70) % v/v y 0.05% TEA y pH 8.0 con flujo de 1.3 mL/min y empleando para realizar la curva de calibración 7 niveles de concentración de acetaminofén: 0.00132, 0.00265, 0.00331, 0.00397, 0.00529, 0.00595 y 0.00662 molar para un volumen de 25 ml de agua [11].

## 2. Resultados y análisis

Inicialmente para poder determinar la concentración de las muestras madre contaminadas con acetaminofén después del proceso de adsorción (concentración final) se realizó una curva de calibración, la cual se construyó con el promedio obtenido de cuatro iteraciones realizadas con los datos registrados en la tabla 1 (datos curva de calibración), sin embargo, al realizar la curva se presenció que el dato obtenido para la concentración 0.608 mg/mL generaba mucho ruido en la curva dando indicios de que se podrían generar resultados inexactos para algunas muestras, por lo que se eliminó para tener una mejor ecuación que describiera el comportamiento de la curva, obteniendo así la curva de calibración que se muestra en la Figura 1, como se puede observar para esta curva se trabajó con un  $R=0.9923$  y con la siguiente ecuación:

$$y = 28609x + 1628.8 \quad (1)$$

A partir de la Ecuación 1 se determinaron las concentraciones finales obtenidas para cada una de las muestras que se sometieron al proceso de adsorción con el biocarbón activado desarrollado a partir del jacinto de agua, los tiempos de contacto fueron de 20, 40, 60, 80, 90 y 100 minutos, obteniendo así los resultados presentados en la Tabla 2:

**Tabla 2.** Áreas cromatográficas y concentraciones finales de las muestras y sus respectivas replicas.

Tiempo (min)	Área cromatográfica (mAU*s) [y]				Concentración final (mg/mL) [x]			
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2	
20	21176.2	23460.9	25455.3	25447.4	0.68326	0.76312	0.83283	0.83256
40	25006.3	25012.1	27366.8	26136.9	0.81714	0.81734	0.89965	0.85666
60	25794.4	25281.4	27147	27643.7	0.84469	0.82675	0.89196	0.90933
80	23930.9	23878.3	23970.6	23953.9	0.77955	0.77771	0.78094	0.78035
90	23930.5	23956.3	24051	24044.4	0.77953	0.78044	0.78375	0.78352
100	23619.4	23608.7	24068.4	24118.9	0.76866	0.76829	0.78435	0.78612

A primera vista se puede notar que, de manera general, las concentraciones finales obtenidas del compuesto activo farmacéutico son menores a la concentración inicial de 0.892 mg/mL de las muestras madre, por lo que se puede notar una adsorción del compuesto; para determinar el porcentaje de adsorción se utilizó la Ecuación 2, los resultados obtenidos a partir de esta ecuación se presentaron en la Tabla 3.

$$\% \text{Adsorción} = ((C_o - C_f) / C_o) * 100 \quad (2)$$

Donde  $C_o$  es la concentración inicial y  $C_f$  la concentración final del compuesto activo farmacéutico en el agua.

**Tabla 3.** Porcentajes de adsorción obtenidos para las muestras y sus respectivas replicas.

Tiempos (min)	% Adsorción	
	Muestra 1	Muestra 2
20	18.9249	6.6486
40	8.3812	1.5525
60	6.3095	-0.9692
80	12.7097	12.4838
90	12.5577	12.1490
100	13.8483	11.9689

Como se puede observar en la Tabla 3 el biocarbón activado realizado a partir del jacinto de agua muestra capacidad de adsorción del compuesto activo farmacéutico (acetaminofén) ya que se presentan porcentajes de hasta un 18%, sin embargo, se identifica una gran versatilidad entre los datos de las muestras de 20, 40 y 60 minutos, especialmente en la réplica (muestra 2) para la muestra de 60 min que no presentó adsorción ya que su valor fue de -0.9692%, esta diferencia entre los porcentajes de adsorción en estos casos se puede atribuir a que probablemente el biocarbón no se activó correctamente a comparación con el implementado en las demás muestras, esto debido a que se tenían limitaciones por la capacidad de la mufla, realizando así la activación por lotes. También es importante resaltar que el valor correspondiente al minuto 20 de la muestra 1 (18.9249%) presenta una desviación considerable con respecto a los demás datos obtenidos para este ensayo, esto puede atribuirse a que en la preparación de la muestra se pudo contaminar por la manipulación humana, también pudieron presentarse errores atribuidos al equipo debido a que no se realizó una purga previa a comenzar los ensayos.

Aun teniendo las desviaciones expuestas anteriormente, de manera general se pueden asegurar las propiedades adsorptivas del biocarbón, además de que se observa que el tiempo no es un factor influyente para este proceso debido a que no se presentan cambios significativos entre las muestras de 80, 90 y 100 minutos las cuales se toman como referencia de este análisis, pues estas se sometieron al proceso de adsorción con el mismo lote de biocarbón a diferencia de las analizadas anteriormente. Basado en esto, se determina que el porcentaje promedio de adsorción de acetaminofén implementando el biocarbón realizado fue de alrededor de 12.6196%. Aunque no se considera el tiempo como factor principal influyente en las fluctuaciones de los porcentajes de adsorción en los primeros 60 minutos, también puede considerarse, para estandarizar el método, que se recomienda además de preparar el biocarbón activado en un único lote considerar tiempos de contacto superiores a 60 minutos para garantizar el desarrollo exitoso de los experimentos.

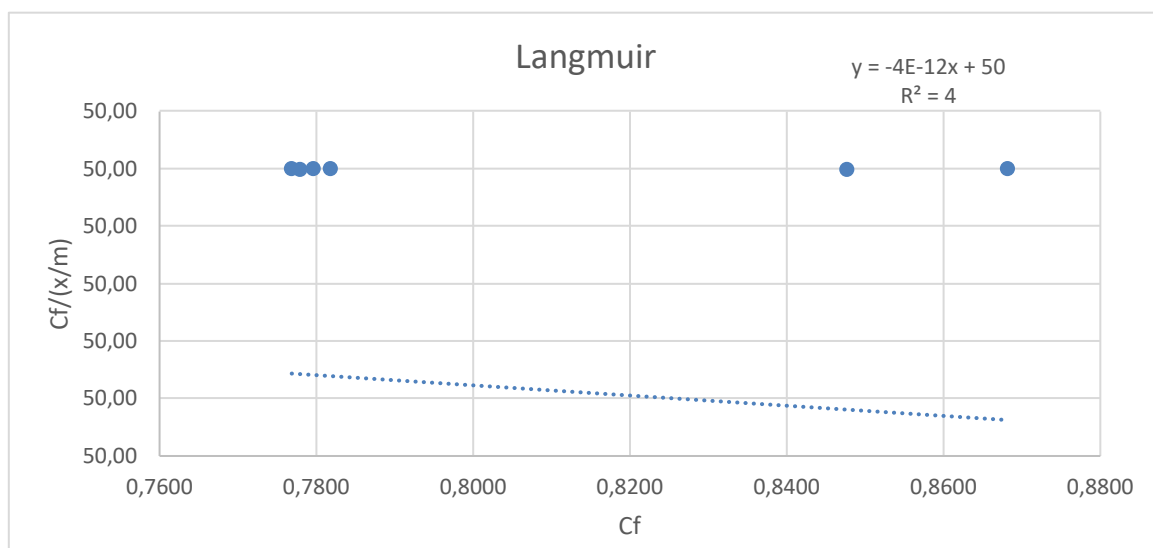
Se midió el pH inicial de las soluciones madre y finalizada la adsorción se tomó nuevamente el valor del pH obteniendo lo presentado en la Tabla 4:

**Tabla 4.** pH inicial y final de las muestras.

		<b>Muestra 1</b>					
pH inicial		6.11					
pH final		6.06	6.1	6.03	6.115	6.12	6.131
		<b>Muestra 2</b>					
pH inicial		6.09					
pH final		6.03	6.08	6.00	6.12	6.023	6.07

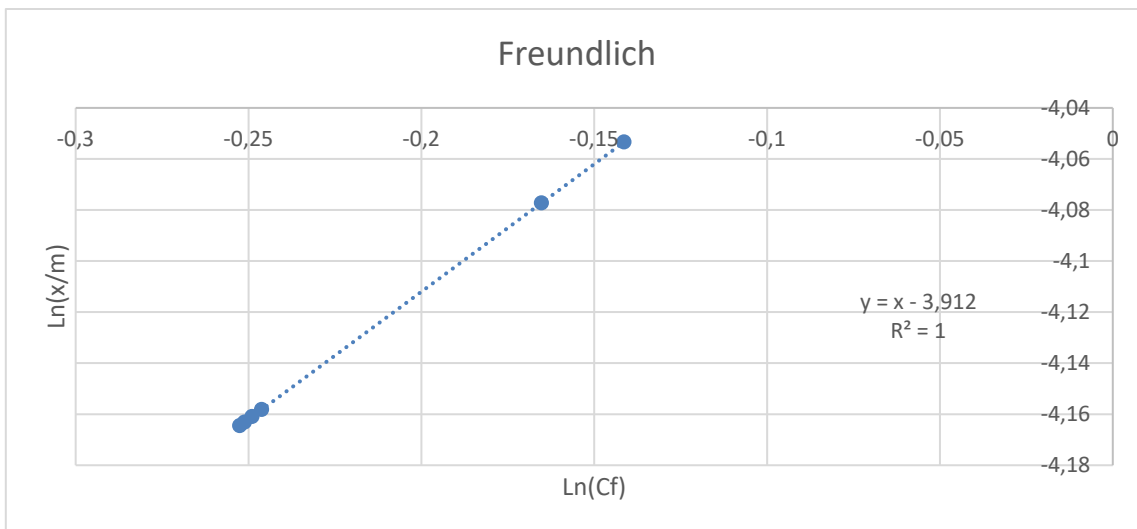
Se analiza de la tabla 4 que el cambio en el pH final no es muy significativo (máximo 0.09) y no representa un comportamiento creciente o decreciente con respecto al pH inicial de cada muestra, por lo que no se puede determinar con exactitud si influye potencialmente en los resultados obtenidos al final de la experiencia. Las fluctuaciones bajas e imprecisas en el pH se pueden atribuir a la sensibilidad del equipo utilizado (pHmetro), puesto que es un instrumento que requiere de precisión en la toma de datos y pudo presentarse margen de error por la manipulación humana.

El proceso de adsorción se cuantificó mediante la elaboración de las isothermas de adsorción de Langmuir, Freundlich y Henry, con la finalidad de obtener la cantidad de adsorbato retenida en el adsorbente, se presentan en las figuras 2, 3 y 4 las isothermas de adsorción respectivamente:



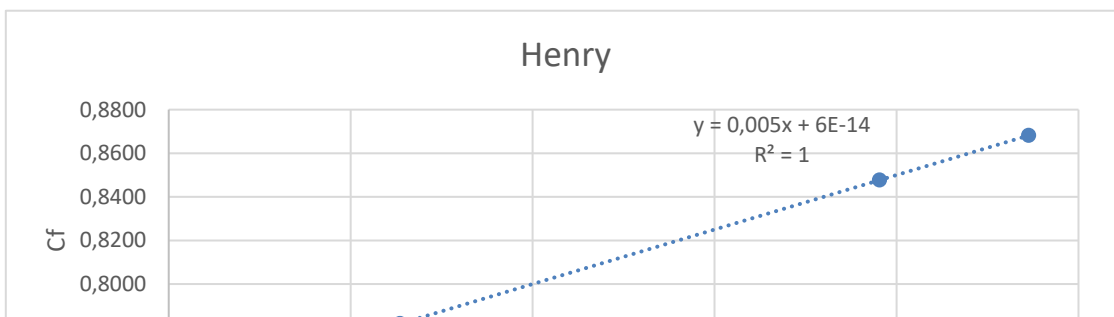
**Figura 2.** Isoterma de Langmuir.

El modelo de adsorción de Langmuir supone que: (a) la superficie es homogénea, (b) tiene un número específico donde se puede adsorber una molécula, es decir, cuando todos los sitios están ocupados no es posible que continúe la adsorción (el sistema se satura), (c) el calor de adsorción es independiente del grado de recubrimiento y (d) todos los sitios son equivalentes y la energía de las moléculas adsorbidas es independiente de la presencia de otras moléculas [12]. De acuerdo con la figura 2, el modelo de Langmuir no se acomoda a la adsorción realizada, esto puede deberse a que la superficie del biocarbón obtenido a partir de jacinto de agua es heterogénea puesto que cuenta con micro y macro poros y esto no cumple con lo propuesto en el modelo de Langmuir.



**Figura 3.** Isoterma de Freundlich

La isoterma de adsorción de Freundlich, por otro lado, es adecuada para superficies heterogéneas y se emplea para analizar el equilibrio de adsorción del adsorbato sobre la superficie del adsorbente [12], se observa en la Figura 3 que la linealidad de los datos del acetaminofén se ajusta al modelo propuesto por Freundlich.



#### **Figura 4. Isoterma de Henry**

La isoterma de Henry es una isoterma de carácter muy general que se cumple siempre que la fase adsorbida se comporte idealmente. En principio, esta isoterma se cumple en cualquier sistema adsorbato-adsorbente para presiones relativamente bajas [13]. Para el proceso de adsorción realizado se puede observar que se adecua a la isoterma de Henry como se muestra en la Figura 4.

Con base en lo descrito anteriormente se podría asegurar que el proceso de adsorción realizado en este proyecto se adecua a las descripciones establecidas para las isotermas de Freundlich y Henry, ya que poseen un coeficiente de correlación de  $R=1$ , sin embargo, es necesario recordar que las concentraciones finales de las muestras sometidas a 20, 40 y 60 minutos presentaron desviaciones con respecto a los porcentajes de adsorción, lo cual también afecta los datos obtenidos para la construcción de las isotermas, siendo esta una de las razones para que se presenten la acumulación de datos en el extremo inferior y por ende no tener una buena distribución de los datos en la linealización.

### **3. Conclusiones (máximo 600 palabras)**

Tras el análisis realizado, se puede afirmar que aunque el método de activación químico-físico para el desarrollo del biocarbón realizado a partir de tallos y hojas de jacinto de agua fue parcialmente funcional ya que se presentaron resultados positivos en los porcentajes de adsorción obtenidos, siendo el promedio de estos equivalente a 12.6196%, demostrando así su funcionamiento como bio-adsorbente del compuesto activo farmacéutico utilizado para las pruebas (acetaminofén), no se puede garantizar que sea el mejor método para emplear a escala industrial o en procesos más especializados, puesto que se presentaron porcentajes de adsorción en los que las cantidades oscilaron sustancialmente en algunas de las muestras lo que supone que se debe realizar un ajuste en el método para lograr su estandarización, además, se evidenció que no hay una influencia significativa por parte del tiempo de contacto en los resultados obtenidos al final del proceso, esto también es un factor importante a revisar puesto que sólo a partir de los 60 minutos se comienzan a apreciar porcentajes de adsorción estables; asimismo, el efecto del pH fue despreciable puesto que se visualizó que las variaciones con respecto a los pH iniciales correspondientes a 6.11 y 6.09 fueron inferiores a más o menos 0.09, en este caso es fundamental garantizar que todos los equipos de laboratorio funcionen adecuadamente de manera que no se distorsionen los resultados obtenidos.

Por otro lado, fue notorio que el correcto desarrollo de la activación física, es decir, en un solo lote, tiene gran importancia e impacto en las propiedades adsorptivas finales del biocarbón puesto que para las muestras y tiempos de 20,40 y 60 minutos se implementó un adsorbente realizado en varios lotes y esto afectó de manera negativa el área cromatográfica arrojada por el HPLC, así como los porcentajes de adsorción los cuales fluctuaron considerablemente obteniendo incluso un dato negativo, correspondiente a -0.9692%, lo que representa que no hubo adsorción en ese caso, estas variaciones suponen un impedimento para el análisis de los datos. No obstante, para las muestras y tiempos de 80, 90 y 100 minutos, realizadas con biocarbón proveniente de un solo lote, se observa congruencia en los porcentajes de adsorción obtenidos, en promedio 12.6196% lo cual posibilita desarrollar un mejor y más completo análisis de los datos.



Finalmente, se evidencia en las Figuras 2, 3 y 4 correspondientes a los modelos de adsorción de Langmuir, Freundlich y Henry, respectivamente, que para la adsorción en cuestión las isotermas que describen de mejor manera el caso son las correspondientes a Freundlich y Henry puesto que estas están diseñadas para adsorbentes heterogéneos, sin embargo, aunque se acomodan de manera “ideal” a estos modelos, con una correlación  $R=1$ , se puede observar una acumulación de los datos al inicio de la curva debido a las desviaciones presentadas en los datos finales de concentración para los tiempos de 20, 40 y 60 minutos, afectando así la distribución de los datos y por ende la relación entre estos, pese a que hayan arrojado un índice de correlación de  $R=1$ .

#### 4. Tabla de Anexos o Apéndices

A continuación, se presenta la Tabla 5 en la cual se incluyen registros fotográficos y de video de la realización del proyecto de grado y los cromatogramas obtenidos del análisis por HPLC, respectivamente:

**Tabla 5.** Documentos adicionales incluidos con el proyecto de grado.

Nombre	Desarrollo (propio/terceros)	Tipo de Archivo	Enlace google drive ( <a href="https://goo.gl/">https://goo.gl/</a> )
Registros Fotográficos y videos	Propio	Jpeg y mp4	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1OAOoNtOwwrezxGljmXjG6Dft7Fha06-V?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1OAOoNtOwwrezxGljmXjG6Dft7Fha06-V?usp=sharing</a>
Cromatogramas	Propio	pdf	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1Ng0JIY6hqr74A0HMWIXnGc4c4Degg5-D?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1Ng0JIY6hqr74A0HMWIXnGc4c4Degg5-D?usp=sharing</a>

#### Referencias

- [1] M. Medina, H. Reyes, “Remoción de compuestos farmacéuticos activos en agua residuales industriales, mediante un reactor electroquímico de comportamiento separado”, Trabajo fin de máster, Facultad de ingenierías, Universidad de Manizales, Caldas, Manizales, 2020.
- [2] D. Rojas, “Evaluación de encapsulados para el control de contaminantes emergentes en agua”, Proyecto integral, Facultad de ingenierías, Fundación Universidad de Américas, Cundinamarca, Bogotá, 2021.
- [3] C. Madera, E. Jiménez, A. Toro, J. Lara, D. Bedoya y V. Duque, “Estudio exploratorio de la presencia de micro contaminantes en el ciclo urbano del agua en Colombia: Caso de estudio Santiago de Cali” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol 34(3), pp 475-487, octubre 2017
- [4] J. Alean, D. Márquez, S. Burgos, G. Enamorado, y J. Marrugo, “Productos farmacéuticos y de cuidado personal presentes en aguas superficiales, de consumo humano y residuales en el departamento de Córdoba, Colombia”, *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol 12(2), pp 179 – 197, marzo 2021.
- [5] E. Céspedes, y M. Cortés, “Evaluación de la eficiencia de remoción de acetaminofén contenido en aguas a escala de laboratorio a través de la técnica de bioadsorción empleando cáscara de cacao y plátano”, Trabajo de grado, Facultad de ingenierías, Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Meta, 2020.
- [6] D. Rojas, “Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*): Una revisión bibliográfica de su capacidad para remover contaminantes del” Proyecto de Grado, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad de Santo Tomás, Villavicencio, Meta, 2021.
- [7] C.Aristizábal, A.Botero, F.López and G.Peñuela, “Monitoring pharmaceuticals and personal care products in reservoir water used for drinking water supply” *Springer Environmental Science and Pollution Research*, vol 24, pp 7335–7347, January 2017
- [8] A. Kamur, A. Jash, B. Sengupta, G. Halder and T. Mandala, “Removal of catechol from aqueous solutions by adsorption using low cost activated carbon prepared from *Eichhornia crassipes*” From the Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology, Durgapur, 2017
- [9] L. Liu, X. Chen, Zang, S. Lin, “Removal of aqueous fluoroquinolones with multi-functional activated carbon (MFAC) derived from recycled long-root *Eichhornia crassipes*: batch and column studies” *Springer Environmental Science and Pollution Research*, vol 26, pp 34345–34356, August 2019.

[10] C. Riyanto and E. Prabalaras, "The adsorption kinetics and isotherm of activated carbon from Water Hyacinth Leaves (*Eichhornia crassipes*) on Co(II)" in International Conference on Science and Science Education, Salatiga, Jawa Tengah, 2019, pp 52-60.

[11] M. González, M. Bor y M. Amaro, "Desarrollo y validación de un método analítico por HPLC para la determinación simultánea de ibuprofeno y tiocolchicósido en comprimidos" Del Laboratorio de Análisis de Medicamentos, Centro de Química Analítica, Caracas, 2018.

[12] C. Rivas, O. Núñez, F. Longoria, y L. González, "Isotherma de Langmuir y Freundlich como modelos para la adsorción de componentes de ácido nucleico sobre WO<sub>3</sub>" *Revista SciELO*, vol.26 no.1, marzo 2014.

[13] A. Sainz, "Adsorción y separación de n-alcanos en Hexacianocobaltos de metales de transición" Tesis de maestría, Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada, instituto politécnico nacional Cicata-Legaria, Ciudad de México, México, 2008.