

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



Biocarbón magnético: Estudio de Desorción y Regeneración para aplicaciones en  
aguas subterráneas en zonas áridas

Reporte de Estancia

Que presenta GETZEMANI MORONES ROCHA

Como requisito parcial para obtener el Diploma como  
ESPECIALISTA EN MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES DE  
ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Biocarbón magnético: Estudio de Desorción y Regeneración para aplicaciones en  
aguas subterráneas en zonas áridas

Reporte de Estancia

Elaborado por GETZEMANI MORONES ROCHA como requisito parcial para  
obtener el diploma como Especialista en Manejo Sustentable de Recursos  
Naturales de Zonas Áridas y Semiáridas con la supervisión y aprobación del  
Comité de Asesoría



Dr. Luis Samaniego Moreno  
Director



Dr. José Javier Ochoa Espinoza  
Asesor



Dra. Silvia Yudith Martínez Amador  
Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda  
Subdirector de Postgrado  
UAAAN

## **Agradecimientos**

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por haberme extendido la oportunidad de formar parte de la población estudiantil y poder recorrer el camino de la preparación profesional desde la perspectiva de un postgrado.

A la **Subdirección de Postgrado** por poner a mi alcance al grupo docente, los conocimientos necesarios, el diálogo de saberes y la calidad en el plan de estudios, lo que facilita el compartir experiencias, enseñanzas.

A la **Dra. Rosa María Garza Quiñones** por estar siempre presente apoyando el camino recorrido para llegar a la meta del conocimiento, por ser una gran guía y ejemplo, en lo personal y en lo profesional.

Al **Dr. Luis Samaniego** por compartir conmigo sus conocimientos, poniéndolos delante de mí y guiándome para enfocarlos en pro de la investigación y el conocimiento.

Al **CONAHCYT** por permitirme la oportunidad de recibir apoyo económico que facilitó mis condiciones como estudiante, proporcionándome una opción cómoda y respaldada para seguir el camino de la preparación en un postgrado.

## **Dedicatoria**

A **Dios** primeramente por darme la oportunidad, la fuerza y la habilidad de lograr concluir con mi formación profesional, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y ser la luz de mi camino.

A **mis padres Ramiro Antonio Morones Castrellón y Elizabeth Rocha González** por ser el reflejo más puro de amor y apoyo que he tenido desde siempre, todo el esfuerzo y los frutos de este camino son también de ellos, infinitas gracias por impulsarme a ser una buena persona y dar lo mejor de mí para ser un profesional con valores, ejemplo que de ellos mismos tomé; todo mi amor hacia ustedes.

A **mis hermanos Ruth, Ramiro y Eduardo** gracias por apoyar mis sueños y ser ejemplo personalmente y profesionalmente, por estar presentes todo el tiempo y aconsejarme desde el amor y comprensión.



## ÍNDICE GENERAL

<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	1
<i>OBJETIVO GENERAL</i> .....	3
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> .....	4
<i>REVISIÓN DE LITERATURA</i> .....	5
Biocarbón .....	5
Nanopartículas .....	5
Maghemita.....	6
Pirolisis .....	6
Adsorción .....	7
Desorción .....	8
<i>DESARROLLO DE ACTIVIDADES</i> .....	9
Primera etapa: Preparación y adsorción inicial .....	9
Segunda etapa: Desorción y Optimización .....	11
Tercera etapa: regeneración y readsorción .....	13
Cuarta etapa: Análisis, modelado y reporte final .....	15
<i>RESULTADOS</i> .....	16
Procedimiento 1.- Adsorción .....	25
Procedimiento 2.- Desorción .....	27
<i>CONCLUSIONES</i> .....	29
<i>LITERATURA CITADA</i> .....	30

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Plan de trabajo primera etapa.....	9
Cuadro 2. Plan de trabajo segunda etapa.....	11
Cuadro 3. Plan de trabajo tercera etapa.....	13
Cuadro 4. Plan de trabajo cuarta etapa.....	15
Cuadro 5. Desorción 1.....	16
Cuadro 6. Adsorción 2.....	16
Cuadro 7. Desorción 2.....	16
Cuadro 8. Adsorción 3.....	17
Cuadro 9. Desorción 3.....	17
Cuadro 10. Adsorción 4.....	17
Cuadro 11. Desorción 4.....	18
Cuadro 12. Adsorción 5.....	18
Cuadro 13. Desorción 5.....	18
Cuadro 14. Adsorción 6.....	19
Cuadro 15. Desorción 6.....	19
Cuadro 16. Imagen de microscopio Keyence VHX-6000.....	19
Cuadro 17. Imagen de microscopio Keyence VHX-6000.....	22

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pesado de los adsorbentes y preparación de reactivos.....	10
Figura 2. Primer ciclo de adsorción y envío de muestras.....	10
Figura 3. Primer ciclo de desorción y optimización.....	12
Figura 4. Estudio de cinética.....	12
Figura 5. Envío de muestras análisis ICP.....	12
Figura 6. Ciclos de Adsorción-Desorción-Regeneración.....	14
Figura 7. Caracterización del biocarbón regenerado.....	14
Figura 8. Análisis del mecanismo de desorción.....	15
Figura 9. Análisis químico del total de las muestras.....	15
Figura 10. Ordenador gráfico adsorción.....	26
Figura 11. Ordenador gráfico desorción.....	28

## INTRODUCCIÓN

Los acuíferos, son un tipo de formación geológica perteneciente al subsuelo; la importancia de estas formaciones geológicas la podemos ver en nuestra vida diaria, ya que desempeñan la tarea vital de fungir como reservorios del agua; lo cual tiene aplicaciones no solo en el consumo humano, sino también en nuestras actividades de subsistencia como los usos dentro del sector agropecuario e industrial; sin mencionar su gran aportación al mantenimiento de los ecosistemas y por consecuencia, la diversidad de nuestro país (Semarnat, 2021).

Específicamente en zonas áridas y semiáridas del norte de México, las aguas subterráneas son la única fuente permanente y disponible que provee de agua; si lo ponemos en perspectiva podemos encontrar que los acuíferos proveen a casi la mitad del territorio nacional, ya que estas condiciones climáticas áridas representan una gran extensión, esto nos ayuda a contextualizar la problemática que están enfrentando los acuíferos de la zona. No obstante, esta problemática es solo una de las que existen, por ejemplo la presencia de cantidades alarmantes de Arsénico (As) que la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) ha reportado; donde los estados que más se ven afectados por esta problemática son: Coahuila y Durango principalmente, pero estados como Chihuahua, Sonora y San Luis Potosí también son afectados, presentando límites que duplican o incluso triplican los niveles permisibles para considerar que su uso sea potable (Arreguín-Cortés et al., 2010).

La contaminación del agua con este metal pesado en específico puede ser causado de manera natural o por cuestiones de tipo antropogénico; de este modo, cuando existe este compuesto en las aguas subterráneas es necesario que se conozcan las implicaciones y consecuencias que se pueden llegar a tener, en la integridad física de la población, así como también se vulnera la seguridad e inocuidad alimentaria; por esta razón es que los estudios recientes han demostrado la presencia de As en algunas hortalizas como la calabaza, repollo, papa, brócoli o lechuga, resultado del uso del recurso hídrico contaminado para el riego agrícola, lo que hace que los frutos se vean afectados; por otro lado cuando se ha encontrado As en productos

como carnes, leche, granos o pescados, se debe principalmente a la bioacumulación y a la movilidad del metal pesado desde el propio ambiente hasta los cuerpos de agua. Ya sea que la exposición a metales pesados como el As; la toxicidad de este contaminante y la exposición prolongada al mismo pueden llegar a producir importantes efectos en la salud como daños en aquellos organos vitales y afecciones de tipo cancerígeno (Reyes et al., 2016).

De modo que se ha recurrido a buscar maneras para tratar esta problemática, una de ellas es la utilización de biocarbón magnético, mismo al que se le incorpora  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (Maghemita) que es la encargada de darle al adsorbente dicha propiedad magnética; para efectos de este caso el biocarbón es obtenido de un residuo agrícola que muy poco es aprovechado, las cáscaras de nuez (*Carya illinoensis*) y que por sus características en abundancia, mínimo impacto ambiental y bajo costo, lo hacen una alternativa que vale la pena revisar y aprovechar (Khamkure et al., 2024).

Por tal motivo y en búsqueda de alguna alternativa que permita tomar acción en cuanto a la grave contaminación de las aguas subterráneas del norte de México, se realizó el presente estudio; el cual tiene por objetivo analizar y corroborar la eficacia del biocarbón magnético, el cual, según la literatura, tiene una gran capacidad de adsorber el As en condiciones acuosas.

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el desempeño en la desorción y la posibilidad de regeneración del Biocarbón magnético a partir de la cáscara de nuez pecanera (*Carya illinoensis*) usados en el proceso de adsorción de arsénico en solución acuosa para su aplicación en aguas subterráneas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.- Evaluar la capacidad que tiene el biocarbón magnético de adsorción del arsénico (As), el cual se encuentra presente en una solución acuosa con distintas concentraciones y distinto pH.
- 2.- Determinar la eficiencia que tiene el biocarbón magnético para realizar el proceso de desorción del As, utilizando distintas soluciones desorbentes y variando los tiempos de contacto.
- 3.- Evaluar la estabilidad estructural y la capacidad de readsorción que posee el biocarbón magnético regenerado, a través de sus respectivos ciclos de adsorción-desorción.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Biocarbón**

El término Biocarbón hace referencia al producto resultante de un proceso de descomposición térmica de materiales que son orgánicos (dichos materiales también son conocidos como biomasa), en dicho proceso es necesario que existan condiciones de escaso suministro de oxígeno y maneja temperaturas que son consideradas relativamente bajas (sin superar los 700°C). En general, sus características físicas suelen variar ligeramente dependiendo del tipo de biomasa utilizada para su obtención, pero podemos describirlo como un sólido de apariencia carbonosa, color oscuro y una morfología desordenada e intrincada (Escalante-Rebolledo et al., 2016).

Resulta importante puntualizar principalmente la facilidad en que se puede obtener la biomasa, sin mencionar la abundancia de la misma; así como su gran capacidad de biodegradabilidad y su potencial de inocuidad en el medio ambiente; de tal manera que el biocarbón resulta ser de gran utilidad y eficacia cuando se trata de realizar tareas como la adsorción; su utilización ha sido principalmente la de biorremediación del suelo, pero las últimas décadas han dado apertura a que se abran las posibilidades de sus aplicaciones, como lo es su uso en la eliminación de agentes contaminantes que se encuentran en el agua, de ahí surge el interés de seguir estudiando sus aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales contaminadas por metales pesados por ejemplo (Présiga-López et al., 2020)

### **Nanopartículas**

Son un tipo de material que puede estar conformado ya sea de cerámicos, semiconductores, metales, polímeros o incluso una mezcla de varios. La disciplina que se encarga de estudiar y entender las nanopartículas es la Nanotecnología, misma que basa sus fundamentos en enfocarse a explicar la relación que existe entre las propiedades físicas que posee la nanopartícula y los efectos que esto provoca (ya sean físicos o químicos) y que ocurren dependiendo del tamaño de



partícula; importante mencionar que para considerar que se está refiriendo una nanopartícula, este debe tener un tamaño entre 1 y 100 nm; debido al tamaño reducido que representan, sus propiedades se ven modificadas, dicha modificación difiere del mismo material del que provienen (Gutiérrez-Wing, 2006).

Debido a sus particularidades físicas, se percibe a las nanopartículas como átomos artificiales y los avances que se han presentado en cuanto los procesos de sintetización que permiten su producción han dado lugar a que se tenga un manejo cada vez más preciso de sus parámetros estructurales y su proceso de formación; éste dependiendo del uso específico que vayan a desempeñar (Zanella, 2012).

### **Maghemita**

La maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) está conformada por partículas octagonales que poseen características semiconductoras, aislantes y ferrimagnéticas, su obtención puede realizarse desde la oxidación de magnetita o bien, mediante la deshidratación de lepidocrocita (Castaño & Arroyave, 1998). Lo más común es que se realice mediante la utilización de magnetita, esta síntesis se realiza en condiciones limitadas de oxígeno y pasando ya sea unas horas o unos días a una temperatura de 300°C, una de sus características representativas es su capacidad magnética y su alta termoestabilidad; aunque dicha estabilidad puede verse afectada por algunos factores limitantes como su pureza, la temperatura a la que se sintetizó o incluso la duración del proceso (Liu et al., 2010).

### **Pirólisis**

Es un proceso de descomposición térmica que sucede en ausencia total de oxígeno, este siempre es el primer paso cuando se trata de procesos como la gasificación o la combustión, seguido de lo que es conocido como una oxidación total o parcial de los productos primarios involucrados. El proceso general de pirólisis consta de tres etapas: 1.- dosificación y alimentación de la materia prima; 2.- transformación de la masa orgánica; 3.- obtención y separación de los productos. Para asegurar un proceso que sea adecuado y eficiente es necesario tener especial precaución en cuestiones como: que la biomasa esté siendo sometida a una temperatura

adecuada para su correcta reacción; evitar y minimizar la exposición del material a temperaturas intermedias o bajas, ya que esto provoca la formación de compuestos no deseados (Klung, 2012).

Este proceso representa una alternativa para la gestión sostenible de residuos sólidos orgánicos, ya que la pirólisis es una de las pocas tecnologías que permite llevar a cabo una producción de biocarbón proveniente de este tipo de desechos, por supuesto que existe una variedad de tecnologías que permiten realizar el mismo proceso de gestión de residuos sólidos orgánicos; la diferencia es que la pirólisis específicamente no produce ni promueve la generación de gases de efecto invernadero. Es importante mencionar que las transformaciones que presenta el material utilizado para la pirólisis sufre cambios estructurales y que son un factor directamente dependiente de la composición del deshecho orgánico, su proporción de lignina, sin pasar por alto las condiciones que el reactor utilizado presente (Vilca et al., 2022).

### **Adsorción**

También conocida como bioadsorción, un proceso que promueve y permite que se haga una captación ya sea activa o pasiva de los iones metálicos, la literatura señala que una gran variedad de biomásas muertas o vivas tienen esta característica de poder acumular y enlazar dichos contaminantes; los procesos de adsorción permiten no solo darle un tratamiento a las aguas contaminadas por metales pesados, sino que también extiende las posibilidades para darle un segundo uso a aquellos materiales que son considerados como desechos (principalmente agrícolas), entre las ventajas más notables de la utilización de esta tecnología se encuentran: su alta eficiencia, el bajo costo que representa tanto su obtención como su procesamiento, contribuye a minimizar el consumo de productos de síntesis química, así como la disminución sustancial de la producción de lodos biológicos; sin duda, un aspecto que llama mucho la atención del proceso de adsorción es que da la oportunidad a los adsorbentes de regenerarse (Tejada-Tovar et al., 2015).

Un factor que sin duda es de suma relevancia en el proceso de adsorción es el pH, de manera general se sabe que cuando el pH del medio es más alto que el punto de carga cero del carbón existe una prevalencia de aquellas cargas negativas que están en la superficie; mientras que de manera opuesta sucede que cuando el pH del medio es menor que el punto de carga cero, se desarrolla una superficie de carga positiva. Por lo tanto las condiciones específicas del biocarbón que está inclinado hacia cargas negativas suele tener mejores resultados adsorbiendo cationes, mientras que aquel biocarbón con prevalencia de cargas positivas resulta ser mejor aprovechado para adsorber aniones (Rodríguez et al., 2010).

### **Desorción**

En términos generales la desorción es justamente el proceso contrario a la adsorción, ya que estamos hablando de que la desorción permite que ocurra una eliminación de aquella materia que ya ha sido agregada al adsorbente en el proceso anterior, esto se hace desde un medio acuoso; usualmente se lleva a cabo este proceso con la finalidad de recuperar el material adsorbente. Estos dos procedimientos que prácticamente se llevan a cabo consecutivamente son utilizados con la finalidad de remover impurezas en medios gaseosos y también para eliminar contaminantes en medios líquidos (Morales-Martínez, 2018)

## DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Esta estancia de investigación tuvo lugar en el laboratorio de síntesis y aplicación de materiales nanoporosos, dentro del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) Sede Saltillo; en un periodo acordado de 3 meses (desde el 15 de febrero hasta el 15 de mayo), para desarrollar las tareas de experimentación y análisis de las muestras obtenidas, las cuales fueron resultantes de los 6 ciclos de adsorción-desorción de Arsénico respectivamente.

El plan de trabajo establecido para esta estancia de investigación estuvo conformada por cuatro etapas, mismas que se desglosan a continuación:

### Primera etapa: Preparación y adsorción inicial

Dentro de esta primer etapa del proyecto de investigación fue necesario realizar la revisión de literatura, misma que permitió conocer principalmente los protocolos de seguridad para trabajar dentro del laboratorio, el manejo adecuado de los reactivos utilizados y la manera en cómo se manejan los desechos; comenzar a conocer y familiarizarse con la metodología precisa para comenzar el primer ciclo de adsorción. Posteriormente a realizar el primer ciclo, se procedió a enviar las muestras que son de tipo: residuos de estudio de adsorción arsenico con hidróxidos dobles laminares; para que se le realizaran análisis químicos de AA/ICP Líquidos.

Cuadro 1. Plan de trabajo primera etapa.

<b>Preparación y adsorción inicial</b>	Febrero		Marzo
	17-21	24-28	3-7
Revisión de literatura			
Experimentos de adsorción de batch			
Análisis de los resultados obtenidos			

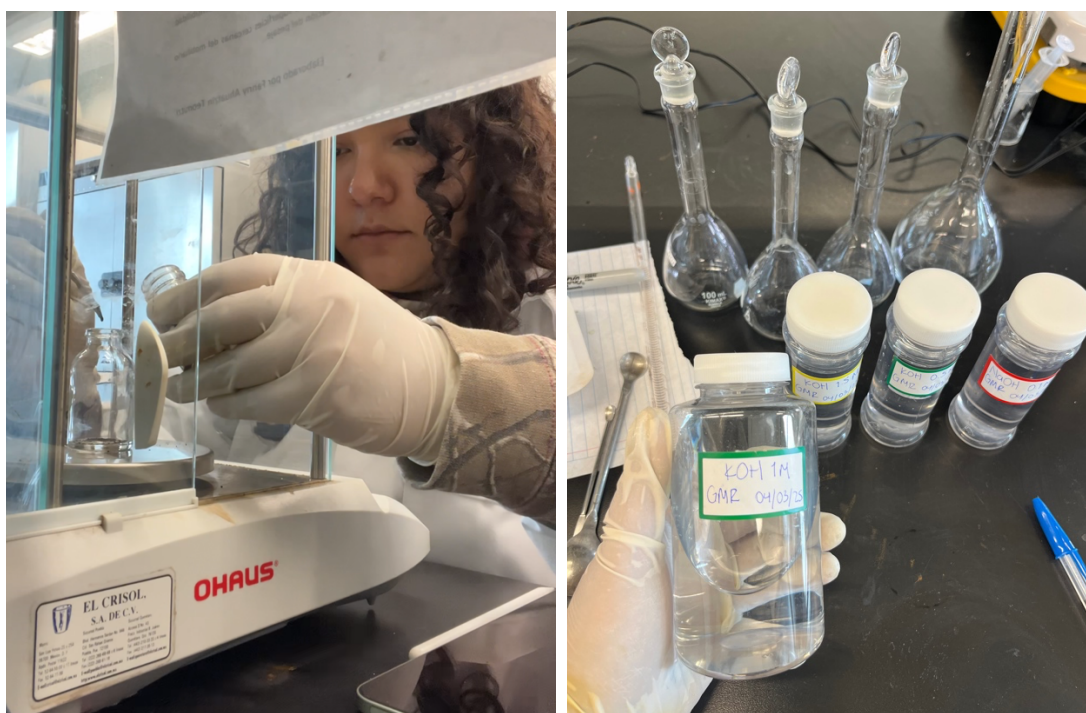


Figura 1. Pesado de los adsorbentes y preparación de reactivos.



Figura 2. Primer ciclo de adsorción y envío de muestras

### Segunda etapa: Desorción y Optimización

Dentro de las actividades que conformaron esta etapa se encuentran de igual manera el cálculo y preparación de distintos reactivos que se utilizan en los procesos de adsorción y desorción: As concentración 2.5M, As concentración 5M, KOH concentración 0.7M y NaOH concentración 0.1M.

Se comenzó el proceso experimental de desorción y posteriormente el de optimización, éste ultimo con la finalidad de hacer variaciones en los tiempos de contacto, concentraciones y dosis para ver su efecto en los siguientes análisis químicos.

Por último dentro de las actividades de esta etapa se llevó acabo la experimentación de cinética de la desorción realizada en este primer ciclo.

Cuadro 2. Plan de trabajo segunda etapa.

<b>Desorción y optimización</b>	Febrero	Marzo			
	24-28	3-7	10-14	17-21	24-28
Preparación de soluciones adsorbentes					
Experimentos de desorción de batch					
Optimización de la desorción					
Estudios de la cinética de desorción					
Análisis de los resultados obtenidos en el primer ciclo de adsorción					





Figura 3. Primer ciclo desorción y optimización.

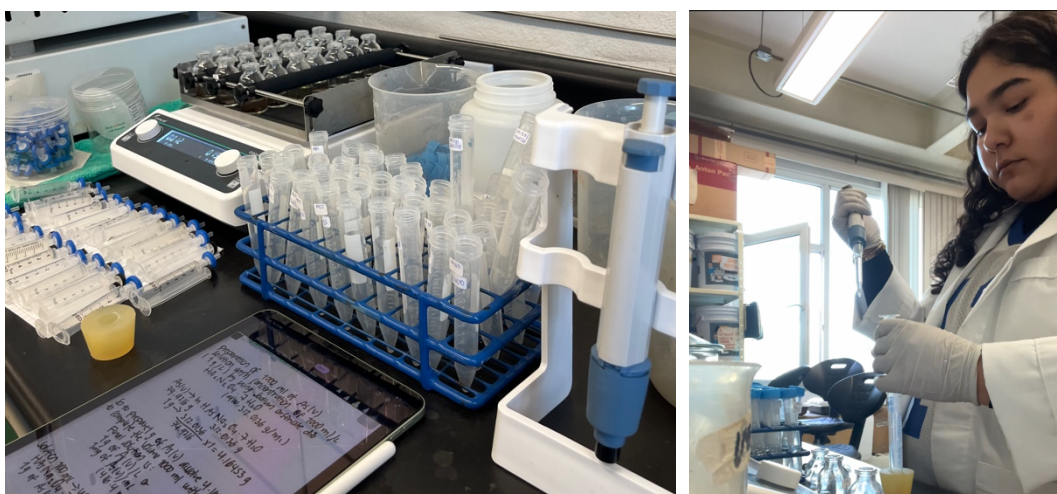


Figura 4. Estudio de cinética.



Figura 5. Envío de muestras análisis ICP.

### Tercera etapa: regeneración y readsorción

A partir de esta tercera etapa, se comenzó con el diseño del protocolo de regeneración del adsorbente, de esta manera se procedió a realizar los ciclos faltantes de manera consecutiva (Adsorción-Desorción-Regeneración) así hasta completar los seis ciclos establecidos desde el principio, desde este punto lo que se hizo fue esperar a tener la cantidad total de muestras para enviarlas todas juntas y recibir los resultados en un solo informe de laboratorio.

Por otro lado también se comenzó a someter a los adsorbentes del experimento a un proceso de observación microscópica para conocer sus características morfológicas, esto para poder caracterizar la regeneración del biocarbón.

Cuadro 3. Plan de trabajo tercera etapa.

<b>Regeneración y readsorción</b>	Abril				Mayo			
	Mar 31 Abr 4	7-11	14-18	21- 25	Abr 28 may 2	5-9	19- 23	26- 30
Diseño del protocolo de regeneración								
Ciclos de Adsorción-Desorción-Regeneración								
Análisis de resultados obtenidos en los ciclos Adsorción-Desorción-Regeneración								
Caracterización del biocarbón regenerado								
Análisis de los resultados obtenidos en los ciclos Adsorción-Desorción-Regeneración								



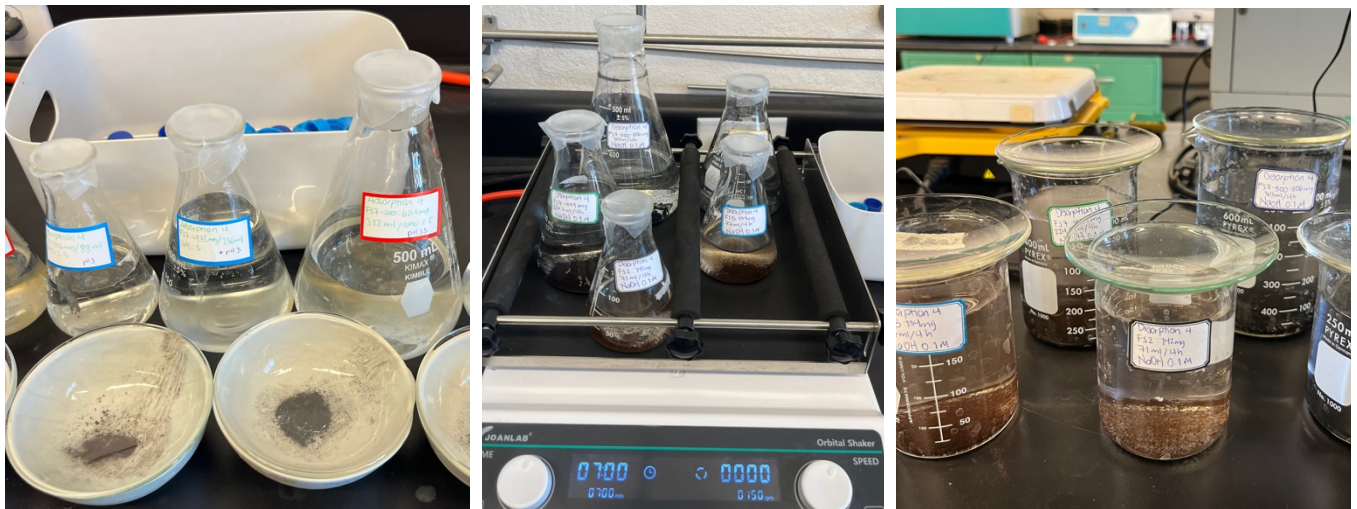


Figura 6. Ciclos de Adsorción-Desorción-Regeneración.



Figura 7. Caracterización del biocarbón regenerado

#### Cuarta etapa: Análisis, modelado y reporte final

En esta última fase del periodo de estancia, se acordó que se harían actividades principalmente de análisis, tanto de los resultados, como de la metodología y la descripción de procesos (para su posterior descripción), así como la revisión, redacción y correcciones del reporte final.

Cuadro 4. Plan de trabajo cuarta etapa.

<b>Análisis, modelado y reporte final</b>	Mayo			
	Abr 28 may 2	5-9	19-23	26-30
Análisis de datos de Adsorción-Desorción-Regeneración				
Análisis del mecanismo de desorción				
Redacción del informe final				
Revisión y corrección del informe final				



Figura 8. Análisis del mecanismo de desorción.



Figura 9. Análisis químico del total de las muestras

## RESULTADOS

Como parte de los resultados que se obtuvieron en este periodo de estancia y desarrollo de proyecto, principalmente se trabajó en una tabla que concentra toda la información relevante del total de los ciclos adsorción-desorción, misma que fue una pieza clave dentro de los procesos de análisis y modelado de los procesos, así como también brinda información sobre las condiciones del experimento y da pauta a entender las reacciones de los adsorbentes y la soluciones

A continuación se incluyen los fragmentos de dicha tabla, agrupada por ciclos y mostrando las condiciones específicas de cada experimento.

Cuadro 5. Desorción 1.

<b>Fecha</b>	<b>Peso (mg)</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>No. of lavado</b>	<b>Final pH de lavado</b>	<b>Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h</b>
21/mar/25	406	171	4	7.46	257
21/mar/25	371	214		6.84	258
21/mar/25	750	500		6.9	569
21/mar/25	750	500		7.16	665

Cuadro 6. Adsorción 2.

<b>Fecha</b>	<b>Peso (mg)</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>No. of lavado</b>	<b>Final pH de lavado</b>	<b>Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h</b>
26/03/25	257	128			215
26/03/25	258	129			238
26/03/25	569	284			535
26/03/25	665	332			655

Cuadro 7. Desorción 2.

<b>Fecha</b>	<b>Peso (mg)</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>No. of lavado</b>	<b>Final pH de lavado</b>	<b>Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h</b>
27/03/25	460	460	1		425

Cuadro 8. Adsorción 3.

<b>Fecha</b>	<b>Peso (mg)</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>No. of lavado</b>	<b>Final pH de lavado</b>	<b>Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h</b>
31/03/25	215	107.5			183
31/03/25	238	119			206
31/03/25	535	267.5			493
31/03/25	655	327.5			632
31/03/25	425	212			358

Cuadro 9. Desorción 3.

<b>Fecha</b>	<b>Peso (mg)</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>No. of lavado</b>	<b>Final pH de lavado</b>	<b>Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h</b>
02/04/25	183	91.5	4	7.38	166
02/04/25	206	103	4	7.4	176
02/04/25	493	246.5	4	7.66	472
02/04/25	632	316	2	7.91	624
02/04/25	358	179	2	7.3	340

Cuadro 10. Adsorción 4.

<b>Fecha</b>	<b>Peso (mg)</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>No. of lavado</b>	<b>Final pH de lavado</b>	<b>Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h</b>
08/04/25	166	83			142
08/04/25	176	88			154
08/04/25	472	236			449
08/04/25	624	312			606
08/04/25	340	170			314

Cuadro 11. Desorción 4.

<b>Fecha</b>	<b>Peso (mg)</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>No. of lavado</b>	<b>Final pH de lavado</b>	<b>Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h</b>
10/04/25	142	71	4	8.63	130
10/04/25	154	77	4	8.52	139
10/04/25	449	224.5	4	9.32	445
10/04/25	606	303	4	8.31	600
10/04/25	314	157	4	10.27	310

Cuadro 12. Adsorción 5.

<b>Fecha</b>	<b>Peso (mg)</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>No. of lavado</b>	<b>Final pH de lavado</b>	<b>Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h</b>
30/04/25	130	65			120
30/04/25	139	69.5			126
30/04/25	445	222.5			429
30/04/25	600	300			598
30/04/25	310	155			309

Cuadro 13. Desorción 5.

	<b>Peso (mg)</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>No. of lavado</b>	<b>Final pH de lavado</b>	<b>Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h</b>
05/05/25	120	60	4	6.95	199
05/05/25	126	63	4	7.49	102
05/05/25	429	214.5	4	9.12	408
05/05/25	598	299	4	7.91	545
05/05/25	309	154.5	5	7.59	284



Cuadro 14. Adsorción 6.




Fecha	Peso (mg)	Volumen (mL)	No. of lavado	Final pH de lavado	Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h
09/05/25	98	49			64
09/05/25	102	51			83
09/05/25	408	204			388
09/05/25	545	272.5			531
09/05/25	284	142			262















Cuadro 15. Desorción 6.

Fecha	Peso (mg)	Volumen (mL)	No. of lavado	Final pH de lavado	Peso (mg) despues de sacado 60 C 15 h
13/05/25	44	22	2	7.47	41
13/05/25	63	31.5	2	7.43	53
13/05/25	268	134	3	7.33	253
13/05/25	411	205.5	2	7.83	402
13/05/25	142	71	3	7.67	122
















Otro de los resultados que se obtuvieron dentro del periodo de estancia y desarrollo de proyecto son las imágenes tomadas por un microscopio Keyence, mismas que fueron agrupadas en una tabla y que cumplen con la función de dar a conocer el tipo de morfología que tienen los diferentes tipos de biocarbones, dependiendo de sus condiciones específicas en el momento de su obtención.

Cuadro 16. Imagen de microscopio Keyence VHX-6000

Sample Name	Magnification x50	Magnification x100	Magnification x150
FS0			



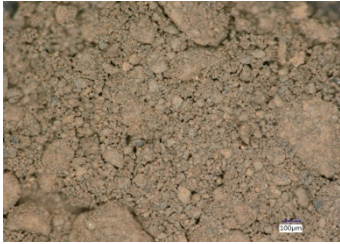




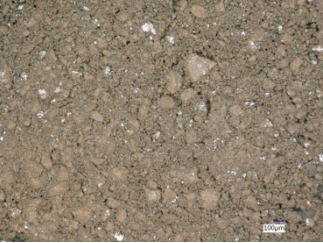
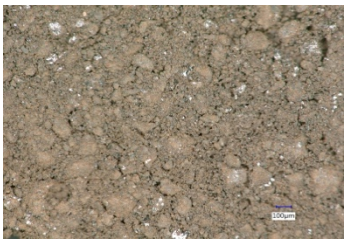

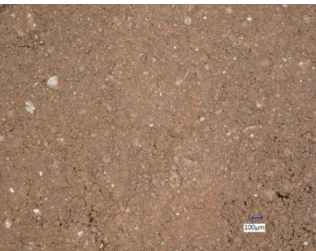
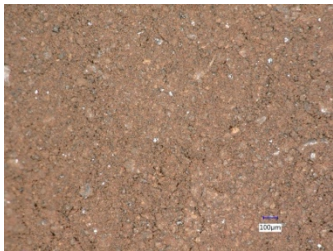

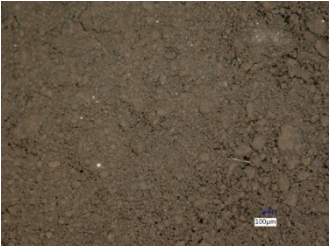

FS1			
FS2			
FS3			
FS4			
FS5			



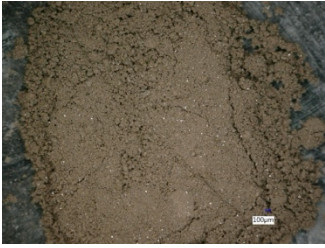
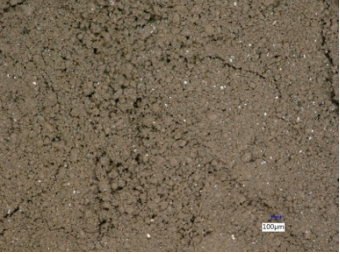
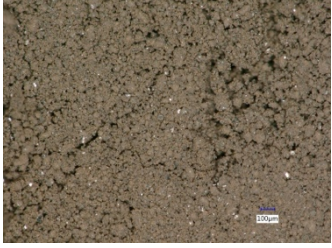

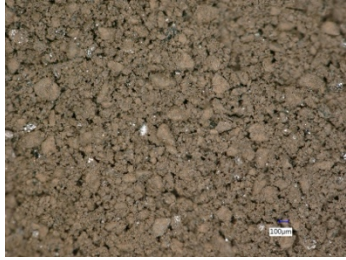
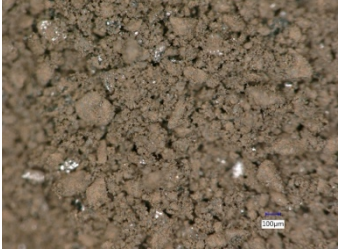

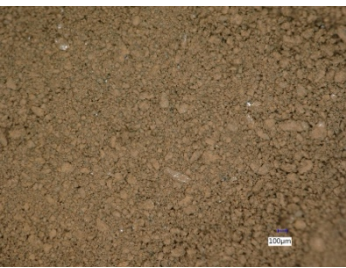
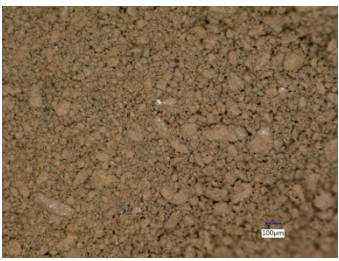

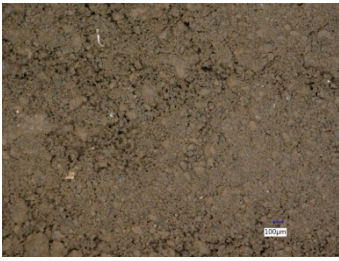
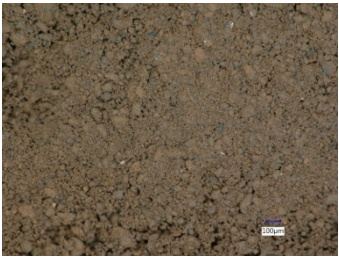


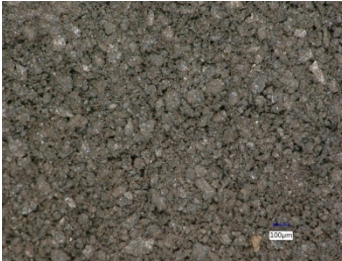
FS6			
FS7			
FS8			
FS9			
FS10			




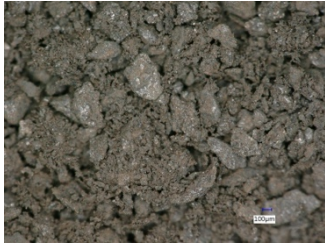


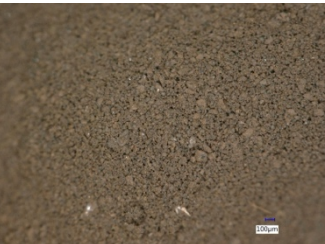
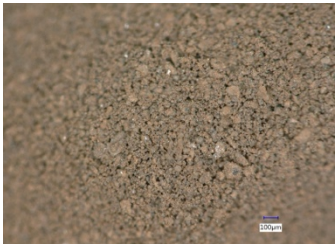

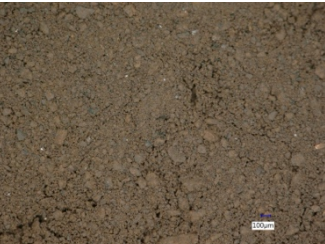
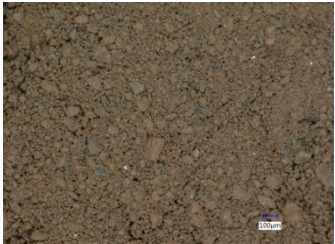




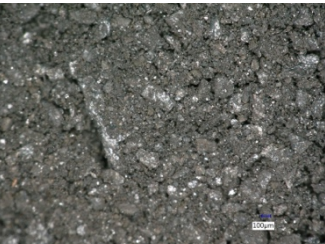

Cuadro 17. Imagen de microscopio Keyence V HX-6000

Sample Name	Magnification x50	Magnification x100	Magnification x150
S14			
S15			
S16			
S17			
S18			



S19			
S20			
S21			
S22			
S23			



S24	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.
S25	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.
S26	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.
S27	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.
S28	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.	 Micrograph showing a dense, granular soil sample with a dark brown color. A 100µm scale bar is visible in the bottom right corner.

Por último, como parte de la tarea de analizar y entender los procesos, se trabajó en una redacción detallada acompañada de una serie de datos que son de utilidad tener a la mano para cuando se planea llevar a cabo los ciclos de Adsorción-Desorción, así como una lista de materiales que dan una idea al lector sobre todo lo que se debe preparar para llevar a cabo de manera eficiente la experimentación; además de un ordenador gráfico que enumera sencillamente los pasos a seguir, a continuación la descripción y esquemas mencionados:

### **Procedimiento 1.- Adsorción**

#### Materiales que se necesitan preparar:

\*Solución indicada para la adsorción (se debe conocer el reactivo que utiliza la solución, el volumen requerido para el experimento, y la concentración del mismo).

1.- Fórmula química:

2.- Cantidad (g, mg, etc):

3.- Volumen:

3.- Concentración:

\*Adsorbente (volumen de la muestra, su distribución proporcional con la solución, número de repeticiones).

1.- Nombre de la muestra:

2.- Cantidad para pesar:

3.-Unidad de medida:

Tubos de ensayo/Tapa	Jeringas	Filtro de jeringa	Filtro cerámico	Filtros papel 0.45 mm
Matraz con boquilla	Bomba de vacío	Micro pipeta	Crisoles	Etiquetas

#### Procedimiento:

\*Una vez que se tenga el volumen total de la solución preparada y los adsorbentes pesados en sus respectivos recipientes, se procede a agregar la solución a los botes y se tapan con film.

\*Ya con los materiales listos, se requiere ajustar el pH de la solución, dependiendo de los requerimientos del experimento.

\* Se acomodan los recipientes en el orbital shaker a 150 rpm, por el tiempo indicado.

\*Una vez transcurrido el tiempo indicado para hacer las filtraciones, se pausa el agitador, se pone el bote en la mesa de trabajo y con la micropipeta se agrega la solución al embolo de la jeringa que previamente tiene conectado el filtro, se pone la muestra en el tubo de ensayo etiquetado, se tapa y se repite el proceso de ser requerido.

\*Terminado el proceso de filtración y armado de muestras, se debe hacer la próxima filtración a los adsorbentes, en dicha filtración se utiliza el matraz con la boquilla conectada a la bomba de vacío; este procedimiento se realiza agregando el contenido de la adsorción al filtro cerámico, una vez terminado este paso, se mide y apunta el pH.

\*Por último, los filtros de papel con el adsorbente se meterán a la estufa al término de la jornada y se sacarán de ahí a la mañana siguiente, la temperatura recomendada es 60°C.

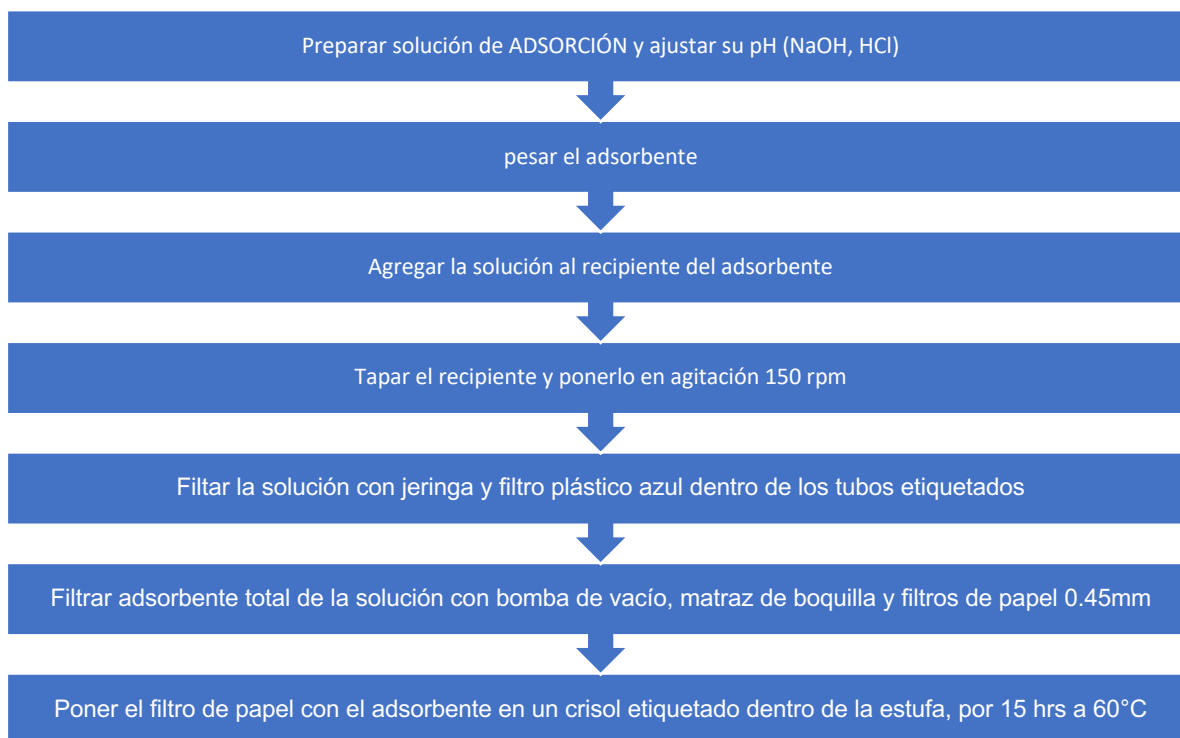


Figura 10. Ordenador gráfico Adsorción

## Procedimiento 2.- Desorción

### Materiales que se necesitan preparar:

\*Solución indicada para la desorción (se debe conocer el reactivo que utiliza la solución, el volumen requerido para el experimento, y la concentración del mismo).

1.- Fórmula química:

2.- Cantidad (g, mg, etc.):

3.- Volumen:

3.- Concentración:

\*Adsorbente (volumen de la muestra, su distribución proporcional con la solución, número de repeticiones).

1.- Nombre de la muestra:

2.- Cantidad para pesar:

3.-Unidad de medida:

Tubos de ensayo/Tapa	Jeringas	Filtro de jeringa	Filtro cerámico	Filtros papel 0.45 mm
Matraz con boquilla	Bomba de vacío	Micro pipeta	Crisoles	Etiquetas

### Procedimiento:

\*Una vez que se tenga el volumen total de la solución preparada y los adsorbentes pesados en sus respectivos recipientes, se procede a agregar la solución a los botes y se tapan con film.

\*Se acomodan los recipientes en el orbital shaker a 150 rpm, por el tiempo indicado del experimento.

\*Se apunta la hora inicial del proceso.

\*Una vez transcurrido el tiempo indicado para hacer las filtraciones, se pausa el agitador, se pone el bote en la mesa de trabajo y con la micropipeta se agrega la solución al embolo de la jeringa que previamente tiene conectado el filtro, se pone la muestra en el tubo de ensayo etiquetado, se tapa y se repite el proceso de ser requerido.

\*Terminado el proceso de filtración y armado de muestras, se debe hacer la próxima filtración a los adsorbentes, en dicha filtración se utiliza el matraz con la boquilla conectada a la bomba de vacío; este procedimiento se realiza agregando el líquido contenido de la desorción al filtro cerámico, una vez terminado este paso, se mide y apunta el pH.

\*Lo siguiente es verificar el nivel de pH obtenido del paso anterior, si este se encuentra alrededor del 7, se puede proceder a poner el filtro de papel en el crisol etiquetado.

\*De lo contrario se deberán realizar lavados con 100ml de agua D1, hasta obtener dicho pH.

\*Una vez el pH sea el indicado, los filtros de papel con el adsorbente se meterá a la estufa al término de la jornada y se sacará de ahí a la mañana siguiente, la temperatura recomendada es 60°C.

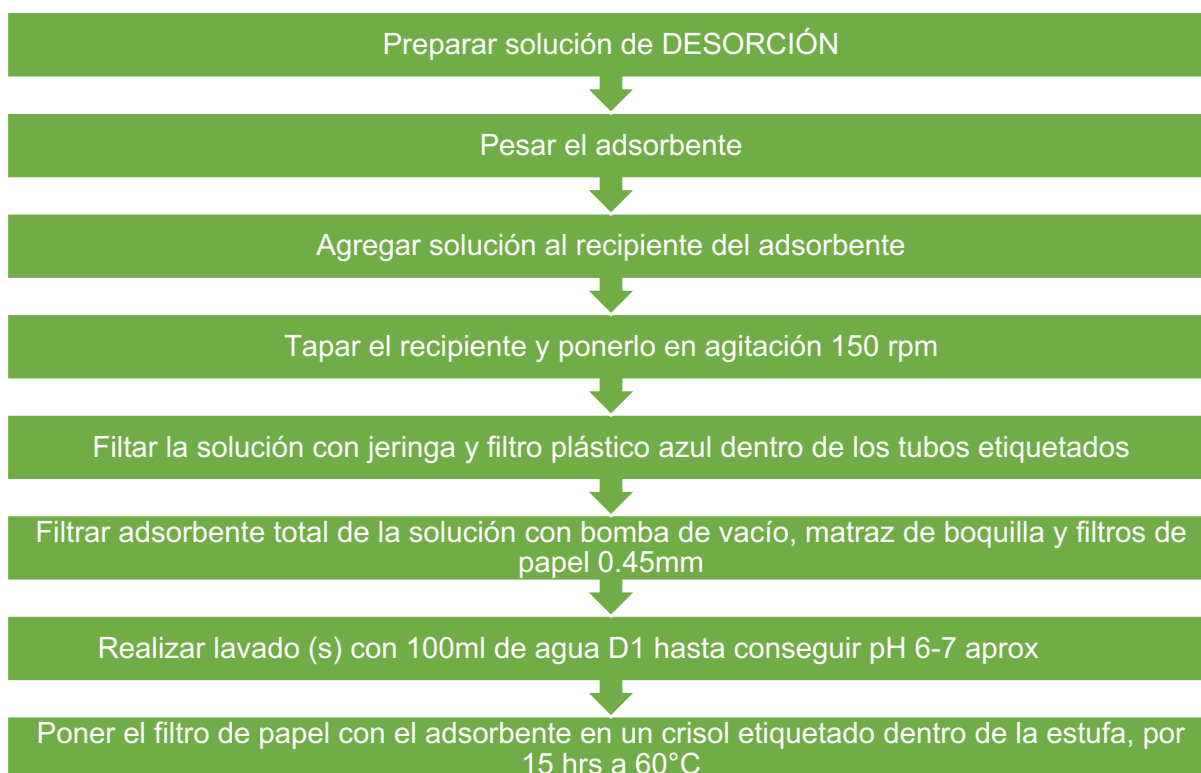


Figura 11. Ordenador gráfico desorción.

## **CONCLUSIONES**

Finalmente podemos asegurar que el uso e implementación de los procesos de adsorción y desorción utilizando residuos de tipo agrícola representa sin duda una alternativa que es sostenible, eficiente y económica tanto para la eliminación de contaminantes por Arsénico, como de otro tipo de metales pesados que se encuentran contaminando las aguas subterráneas, específicamente representa una alternativa adecuada en zonas áridas y semiáridas como las del norte de México.

La utilización de esta biomasa que es fácilmente considerada como un desecho agrícola, permita que se le de un alto aprovechamiento a los subproductos que resultan de las actividades del campo. Una de las cuestiones que más llama la atención de éste método es la capacidad que tiene para regenerarse.

En conclusión esta estrategia no solo brinda una posibilidad para mejorar la calidad del agua en zonas que están siendo gravemente afectadas por esta cuestión si no que además impulsa que se realicen prácticas que involucren el cuidado ambiental y la economía circular.



## LITERATURA CITADA

- Arreguín-Cortés, F., Chávez-Guillén, R., & Soto-Navarro, P. (2010). Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea en México. *Revista Taloc AMH*, 45.
- Castaño, J. G., & Arroyave, C. (1998). La funcionalidad de los óxidos de hierro. *Revista de Metalurgia*, 34(3).  
[https://www.researchgate.net/publication/345734814\\_La\\_funcionalidad\\_de\\_los\\_oxidos\\_de\\_hierro](https://www.researchgate.net/publication/345734814_La_funcionalidad_de_los_oxidos_de_hierro)
- Escalante-Rebolledo, A., Pérez-López, G., Hidalgo-Moreno, C., López-Collado, J., Campo-Alves, J., Valtierra-Pacheco, E., & Etchevers-Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3).
- Gutiérrez-Wing, C. E. (2006). Las nanopartículas: pequeñas estructuras con gran potencial. ¿Por qué el interés en estos materiales? ¿Qué aplicaciones tienen? *Contacto Nuclear*.  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45308020/39\\_NANOPARTICULAS-libre.pdf?1462274403=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Dcontacto\\_pdf.pdf&Expires=1748421949&Signature=WxkJoWZAG1P8lO5wmCHsJuEbmAS~5aYmCMNI8q~y-gbupOZcFdBpzgd70-drdU8bHZNKqXp3cjgmmQOZBQxAZ-lwFcvvdJMI~gDH0UfP1W7KD1uhpWwNy~Us0Xf1yPNpNLceG3dO60EQgU8MLcnAzcCT6~7LVCqN3AOu8erOKKfbYulnjisClh3DWEj0u00Pgn5DFtzFvx4Qgbls4pZ5LH9GKRKlny5ftAjr5JPkZZiS4Gv8EV0RuVlr2lcCfrUoQ~8KITcn2Xr92A~QSv0oD-Q3FDfstXlBJKQpKszjJyPzZx-2DhUM6Dm4Jcuwg9L1lvt7wA0PIXEJV7NSB5Jhg\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45308020/39_NANOPARTICULAS-libre.pdf?1462274403=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Dcontacto_pdf.pdf&Expires=1748421949&Signature=WxkJoWZAG1P8lO5wmCHsJuEbmAS~5aYmCMNI8q~y-gbupOZcFdBpzgd70-drdU8bHZNKqXp3cjgmmQOZBQxAZ-lwFcvvdJMI~gDH0UfP1W7KD1uhpWwNy~Us0Xf1yPNpNLceG3dO60EQgU8MLcnAzcCT6~7LVCqN3AOu8erOKKfbYulnjisClh3DWEj0u00Pgn5DFtzFvx4Qgbls4pZ5LH9GKRKlny5ftAjr5JPkZZiS4Gv8EV0RuVlr2lcCfrUoQ~8KITcn2Xr92A~QSv0oD-Q3FDfstXlBJKQpKszjJyPzZx-2DhUM6Dm4Jcuwg9L1lvt7wA0PIXEJV7NSB5Jhg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- Khamkure, S., Díaz-Jiménez, L., Reyes-Rosas, A., Gamero-Melo, P., Zermeño-González, A., & Cortez-Quevedo, E. (2024). Magnetic Pecan Nutshell Biochar for Arsenic and Fluoride Removal: Effects of Particle Size and Pyrolysis Temperature. In *Key Engineering Materials* (Vol. 1003, pp. 101–106). Trans Tech Publications Ltd.  
<https://doi.org/10.4028/p-z79xEP>
- Klung, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química PUCP*, 26(1). <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547/5543>
- Liu, X. M., Shaw, J., Jiang, J. Z., Bloemendal, J., Hesse, P., Rolph, T., & Mao, X. G. (2010). Analysis on variety and characteristics of maghemite. *Science China Earth Sciences*, 53(8), 1153–1162. <https://doi.org/10.1007/S11430-010-0030-2/METRICS>
- Morales-Martínez, K. J. (2018). *Desorción* [Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Oaxaca]. [https://www.academia.edu/38373163/DESORCION\\_pdf](https://www.academia.edu/38373163/DESORCION_pdf)

- Présiga-López, D., Rubio-Clemente, A., & Pérez, J. F. (2020). Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), 121–134. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021011>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Heavy metals contamination: implications for health and food safety. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77.
- Rodríguez, P., Giraldo, L., & Moreno, J. C. (2010). Influencia del pH sobre la adsorción en carbón activado de Cd(II) y Ni(II) desde soluciones acuosas . *Revista Colombiana de Química* , 39(3), 401–412.
- Semarnat. (2021). *Boletín Estadístico y Geográfico. Aguas subterráneas*. . [https://gisviewer.semarnat.gob.mx/bol/05\\_2102/](https://gisviewer.semarnat.gob.mx/bol/05_2102/)
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortíz, A., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico . *Revista Tecnológica* , 18(34). <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234336010.pdf>
- Vilca, C., Rodríguez, S., Atamara, U., Cueva, C., Concha, W. J., Atausupa, M. A., & Gosgot, W. (2022). Pirólisis: una revisión de conceptos y aplicaciones en la gestión de residuos sólidos. *Revista de Investigación En Agroproducción Sustentable* , 6(1). <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/854/1267>
- Zanella, R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. / *Artículos | Mundo Nano*, 5(1). [www.mundonano.unam.mx](http://www.mundonano.unam.mx)