

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado  
mediante cáscara de naranja (Citrus Cinensis) para la remoción  
de iones de Arsénico en aguas residuales industriales**

Por:

Llely Sabrina Murrieta Barrera

Asesor:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

**Lima, diciembre de 2019**

**DECLARACIÓN JURADA  
DE AUTORÍA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Milda Amparo Cruz Huaranga, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado mediante cáscara de naranja (*Citrus Cinensis*) para la remoción de iones de Arsénico en aguas residuales industriales" constituye la memoria que presenta la estudiante Lley Sabrina Murrieta Barrera para aspirar al Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 30 días de noviembre del año 2019.



---

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a... 2 ... día(s) del mes de *diciembre* ... del año 20 *19* siendo las *13:10* ... horas, en *SANTA ANITA* ...

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) *362-4545* ...

presidente(a): *Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas* ... el (la) 

secretario(a): *Ing. Orlando Alan Poma Porras* ... y los demás miembros:

*Dr. Alex Ruben Huaman De la Cruz, Mg. Jackson Edgardo Perez Caspio*

... y el (la) asesor(a) *Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga*

... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: *Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado*

*mediante cáscara de naranja (Citrus Cinnensis.) para la remoción de*

*iones de Arsénico en aguas residuales industriales*

... de los (las) egresados (as): a) *Lily Sabrina Murrieta Barrera*

... b) ...

... conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

*Ingeniería Ambiental*

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a *la* ... candidato (a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por *la* ... candidato (a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): *Lily Sabrina Murrieta Barrera*

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<i>ΔPROBADO</i>	<i>18</i>	<i>A-</i>	<i>MUY BUENO</i>	<i>SOBRESALIENTE</i>

Candidato/a (b): ...

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a *la* ... candidato (a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

  
Presidente/a

  
Asesor/a

  
Candidato/a (a)

  
Miembro

  
Secretario/a

  
Miembro

...  
Candidato/a (b)

# **Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado mediante cáscara de naranja (*Citrus Cinensis*) para la remoción de iones de Arsénico en aguas residuales industriales**

## **EVALUATION OF THE ADSORPTION CAPACITY OF ACTIVATED CARBON THROUGH THE ORANGE PEEL (CITRUS CINENSIS) FOR THE REMOVAL OF ARSENIC IONS IN INDUSTRIAL WASTEWATER**

Llely Sabrina Murrieta Barrera<sup>a,b</sup>

*a Universidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Central Km.19.5 Ñaña-Chosica*

*b Centro de Investigación y Recursos en Geociencia, Carretera Central Km 19.5 Ñaña-Chosica*

### **Resumen**

El artículo presenta una evaluación de revisión de estudios acerca del aprovechamiento de residuos orgánicos de frutas, pero entre ellas la principal es sobre la cáscara de naranja (*Citrus Cinensis*) y su potencial uso como materia prima para la obtención de carbón activado. La biomasa lignocelulósicas de naranja genera un alto contenido de compuestos orgánicos y bajos para el contenido de ceniza, pero como características sumamente son aprovechables a la hora de someter como a un mecanismo de activación química. Además, tiene como ventajas el alto rendimiento de eficiencia parar la adsorción de metales. También se presenta que los autores para concluir con los resultados, aplican diferentes activaciones químicas para la obtención del carbón activado con el fin de adsorber los metales entre ellas son Cd, Pl, Cu, As(V). Este tipo de producto tiene la función para tratar el agua en la que son un gran porcentaje para adsorber estos tipos de iones, también la eliminación de contaminantes. Para concluir, la evaluación de los trabajos analizados da significancia que las biomásas lignocelulósicas de naranja son muy útiles para la síntesis de carbón activado, asimismo teniendo mayor porcentaje de adsorción en los metales según variables que se pueda encontrar en los estudios mencionados.

Palabras Claves: Carbón activado, activación química, Citrus Cinensis, remoción de metales, biomasa lignocelulósica

### **Abstract**

The article presents a review evaluation of studies on the use of organic fruit residues, but among them the main one is about the orange peel (*Citrus Cinensis*) and its potential use as a raw material to obtain activated carbon. The lignocellulosic orange biomass generates a high content of organic compounds and low for the ash content, but as characteristics they are highly usable when subjected as a chemical activation mechanism. In addition, it has the advantages of high efficiency performance to stop the adsorption of metals. It is also presented that the authors to conclude with the results, apply different chemical activations to obtain activated carbon in order to adsorb the metals among them are Cd, Pl, Cu, As. This type of product has the function to treat the water in which they are a large percentage to adsorb these types of ions, also the removal of contaminants. To conclude, the evaluation of the works analyzed gives significance that the lignocellulosic orange biomass is very useful for the synthesis of activated carbon, also having a higher percentage of adsorption in metals according to variables that can be found in the mentioned studies.

Keywords: Activated carbon, chemical activation, Citrus Cinensis, metal removal, lignocellulosic biomass

## 1. Introducción

Las industrias a lo largo del tiempo han sido aceptadas por la población. Sin embargo, como consecuencia de su funcionamiento se generan grandes cantidades de aguas residuales que contienen elevadas concentraciones de diferentes metales pesados (Vijayaraghavan & Balasubramanian, 2015) las cuales son vertidas directamente a ríos u otras fuentes de agua superficiales ((WWAP) Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, 2017). Esto representa un riesgo mayor, ya que estas fuentes de agua generalmente se consideran como la base para otros fines prácticos (Torres et al., 2018)

Los metales pesados son elementos químicos cuya densidad atómica es mayor de  $6 \text{ g/cm}^3$ , siendo los principales el Cadmio, Cobre, Arsénico, Mercurio, Níquel, Plomo, y Zinc. (O'Connell et al., 2008) Entre los elementos de metales el arsénico es uno de ellos extremadamente tóxico y un carcinógeno para el organismo humano, donde la exposición causa efectos agudos que pueden llegar a ser letales, donde la exposición causa agudas o letales a la salud por de ingesta de agua contaminada (Alarcón et al., 2014)

También la mayor cantidad de problemas ambientales sobre el arsénico son el resultado de la movilización en condiciones naturales. Sin embargo, las actividades mineras, combustión de combustibles fósiles, uso de pesticidas arsénico, herbicidas, y desecantes de cultivos y uso de aditivos de arsénico para la alimentación del ganado crear impactos adicionales en nuestro ambiente (Mohan & Pittman, 2007)

Entre los procesos aplicados al tratamiento del agua están: precipitación, ósmosis reversa, reacciones de oxidación avanzada, intercambio iónico, adsorción, entre otros. Siendo el proceso de adsorción el más recomendado por su versatilidad y bajo costo.(Sun-kou, Obreg, Luc, & Aylas-orej, 2014)

La existencia de diversas técnicas de tratamiento de aguas residuales industriales que la ciencia y la tecnología pone en manos de las empresas para estas puedan cumplir en condiciones óptimas con los requerimientos del progreso económico, social y medioambiental (Ríus, 2006) Para el tratamiento de este tipo de agua se podría realizar con el Carbón activado granular (CAG) para agentes contaminantes de carácter fisicoquímico, aplicándose posteriormente a los tratamientos secundarios para la mayor adsorción de contaminantes como nitrógeno, sulfuros y metales pesados, también para eliminación de compuestos orgánicos (Burgos & Suárez, 2014).

Para eso existe tecnologías de tratamiento como el de convencional de aguas residuales que utilizan soluciones “green” con carbón activos en polvo y a los procesos híbridos adsorción/membrana o filtración con carbón biológicamente activo (BAC) (Navarro-garro et al. 2016)

## 2. Formación de carbón activado

El carbón cumple un papel importante en muchas industrias, la mayoría son producidas por materiales carbonosos naturales como cascaras de frutas, lignitos, carbón de hulla, turba, etc., pero esto al llamarse “carbón activado” es porque pasaron por un proceso de activación química y esto hace que aumente en la porosidad y forma diferentes grupos funcionales sobre la superficie del carbón (Oliva Primera-Pedrozo et al., 2011) Se han utilizado como capacidad adsorbente (Carriazo, Saavedra, & Molina, 2010) y también se han utilizado para aumentar la capacidad en una pieza clave de catálisis heterogénea (Universidad de Alicante, 2014)

La porosidad del carbón activado tiene distintos tipos de poros para las propiedades que se presentan en el proceso de adsorción llegan a ser dependientes de su geometría y de las características

de moléculas que son adsorbidas (López, 2004). La IUPAC establece una calificación del tamaño de los poros, señalando los siguientes grupos:

Tabla 1. Clasificación del tamaño de los poros del carbón activado de acuerdo a la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) (Universidad Sevilla, 2011)

Clasificación del tamaño de poros	
Microporoso	< 2 nm
Mesoporoso	2 > 50 nm
Macroporoso	> 50 nm

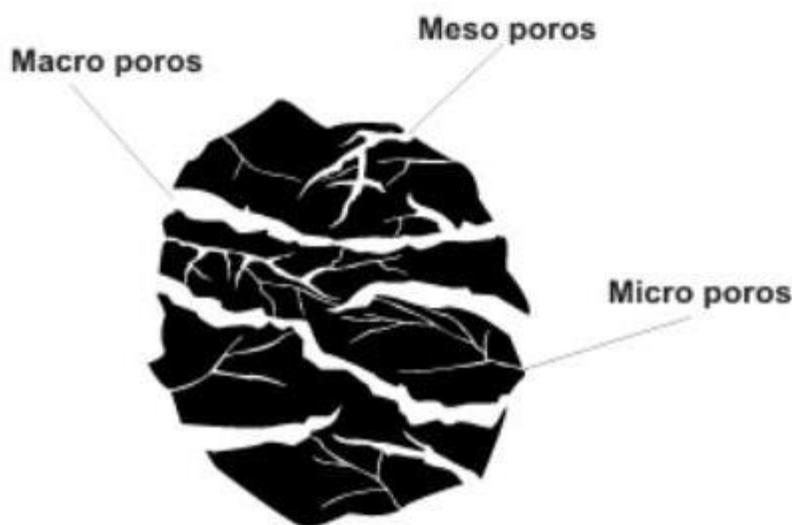


Figura 1. Tipos de poros identificados en el carbón activado

En el caso de los tipos de poros los mesoporos y macroporos constituyen la superficie externa del material y son responsables del 10% de la superficie específica, destacando por su aporte en el proceso de adsorción ya que ayudan al transporte hacia la porosidad más estrecha, pero las funciones de los microporos constituyen del 90% de la adsorción que se da en la superficie (Martínez Fierro, 2012)

Los tipos de materiales precursores nos brinda la naturaleza para la realización de este tipo de carbón activado también se puede trabajar con biomasa lignocelulosa ya que existe variedad de tipos de residuos biomásicos generados en actividades industriales, agrícolas y urbanas y estas pueden ser reaprovechables y dentro de la biomasa seca se encuentra los residuos lignocelulósico (Castillo et al., 2012).

La función de la obtención de este tipo de carbón activado sirve también para la remoción de metales en este caso específico para el Arsénico impregnado con óxidos de hierro mediante precipitación para la remoción de As (III) y As(V) obteniendo una remoción del 80% partiendo de una concentración inicial de  $1\text{mgL}^{-1}$  (Vitela Rodríguez, 2011).

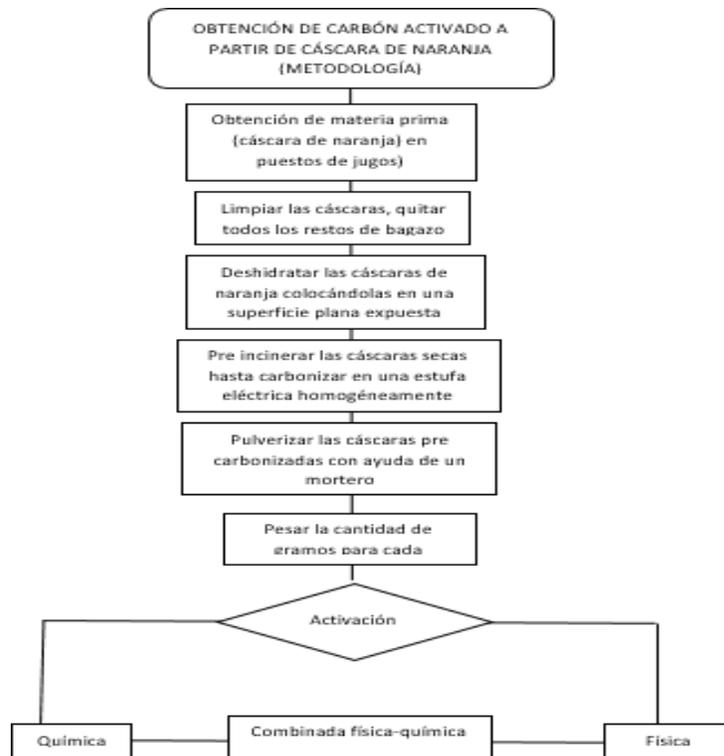


Figura 2. Diagrama para la obtención de carbón activado de cáscara de naranja

### 3. Cinética de adsorción

La cinética de adsorción es principal para poder realizar el desarrollo de un sistema continuo, que a través de ella, se puede calcular la velocidad de adsorción del soluto y determinar el tiempo de residencia que se requiere para poder completar la reacción de la adsorción. (Vitela Rodríguez, 2011)

La cinética de adsorción puede ser descrita por el mecanismo de pasos consecutivos entre ellos son:

- La transferencia de masa externa de solutos, del seno de la solución a través de la película que rodea a las partículas del adsorbente, conocida como la capa límite
- La difusión del soluto a través del líquido contenido en los poros y/o a través de las paredes del poro, llamada difusión interna o intraparticular
- La adsorción- desorción entre el soluto y los sitios activos del adsorbente

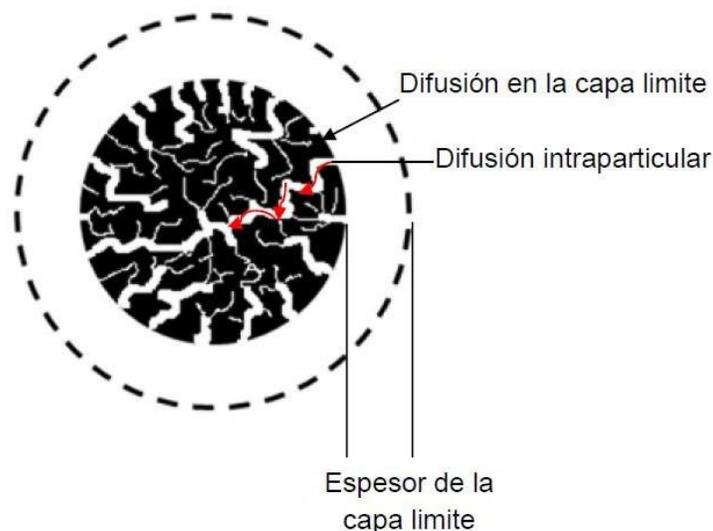


Figure 3. Proceso de la Cinética de Adsorción

Pero la adsorción también se considera que tiene ventajas y desventajas

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la adsorción (Salas & Rodriguez, 2018) y elaboración propia

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Se cuenta con una tecnología que da lugar a un bajo costo y el reducido costo energético. Presenta una elevada eficacia, especialmente cuando la concentración de metal en el agua residual es baja. Es posible la regeneración de un gran número de adsorbentes, pudiéndose utilizar en ciclos sucesivos de adsorción-desorción. Puede permitir la recuperación del metal tras el proceso de regeneración en el que se obtiene una solución concentrada en el compuesto de interés. Frente a la precipitación, la adsorción no genera fangos químicos, y el único residuo del proceso es el adsorbente agotado.</p>	<p>Las técnicas convencionales están ampliamente extendidas y son muy conocidas en diversos sectores industriales, lo que dificulta enormemente su sustitución. Las interacciones de los metales de la disolución y de adsorbentes con otros compuestos presentes en el agua residuales pueden ocasionar cambios en las capacidades de retención, disminuyendo la eficacia del proceso. Por ello, es importante caracterizar adecuadamente las aguas residuales a tratar para evitar interacciones indeseables y programar adecuadamente los ciclos de operación, para conseguir el máximo aprovechamiento del sistema manteniendo las condiciones de calidad requeridas al efluente.</p>

#### 4. Métodos de síntesis para la realización de carbón activado a base de materiales lignocelulósicos

Los métodos de preparación influyen mucho en las características de textura de los carbones activados. Entonces existen dos tipos de métodos para llevar a cabo la obtención de síntesis del carbón activado.

##### 4.1. La activación física,

Involucra la carbonización primaria del material lignocelulósico, seguido de un tratamiento térmico en altas temperaturas que significa la activación entre 800 °C a 1100 °C, bajo flujo de gas, como vapor de agua, dióxido de carbono o una mezcla de gas que garantice una atmósfera ligeramente reactiva (Vidal, Suarez, Barrios, & Pérez, 2018)

#### 4.2. La activación química,

En este caso el material lignocelulósico mezclado con agentes deshidratantes, siendo algunos agentes químicos utilizados para el proceso de activación química ( $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$ ,  $AlCl_3$ ,  $MgCl_2$ ,  $KOH$ ,  $NaOH$ , etc.), los más empleados son  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$  y  $KOH$ . Pero esto es seguido del tratamiento térmico con temperaturas entre  $400\text{ }^\circ\text{C}$  y  $900\text{ }^\circ\text{C}$  en donde la activación y carbonización se realizan simultáneamente. Los dos primeros son agentes deshidratantes que producen un hinchamiento de las partículas durante el proceso de impregnación e influyen en el proceso de pirólisis del precursor, también inhiben la liberación de materia orgánica volátil y mayor retención de carbono, ya que la degradación de la celulosa y la lignina está catalizada por ácidos, retardando la quema del material precursor e incrementando el rendimiento del producto final. (González Navarrete, 2017)

También existe ventajas y desventajas según el método a realizar la activación

Tabla 3 Ventajas y desventajas de activación física y activación química (Mora, 2004)

Carbón	ACTIVACIÓN FÍSICA	ACTIVACIÓN QUÍMICA
<b>Ventajas</b>	Tiene bajos costos de operación de planta  No utiliza reactivos químicos, por consiguiente tiene un impacto ambiental menor	La temperatura de tratamiento es relativamente baja, menor a $700\text{ }^\circ\text{C}$  El carbón activado se obtiene en una sola etapa de conversión  Gran parte del agente activante se puede recuperar Los costos de maquinaria de activación son relativamente menores Tiene bajo costo energético
<b>Desventajas</b>	La temperatura media de activación es elevada, mayor $900\text{ }^\circ\text{C}$  Requiere de doble etapa para convertir materia prima (madera) en carbón activado  Tiene costo energético elevado Tiene costo elevado en capital de trabajo (equipo de activación)	Tiene mayor costo de operación durante la activación  Utiliza reactivos químicos que pueden ser contaminantes o corrosivos

## 5. Modelos teóricos de equilibrio del proceso

### 5.1. Isotermas de adsorción

Una isoterma se caracteriza por ciertas constantes de valores que expresan las propiedades de superficie y la afinidad del adsorbente (Gulbeyi Dursun, Handan C, 2005). Los modelos de isotermas de equilibrio generalmente se clasifican en ecuaciones empíricas y modelos basados en

el mecanismo de biosorción de iones metálicos que permiten predecir la capacidad máxima de adsorción del biosorbente (Igwegbe et al., 2016) (Vimala & Das, 2009). Los modelos más utilizados en la adsorción de iones metálicos como biosorbentes son los de Langmuir y Freundlich.

La isoterma de Langmuir es usada ampliamente para describir la relación entre la cantidad del ion metálico adsorbido sobre el biosorbente y su concentración de equilibrio en solución acuosa.

Mientras que, la isoterma de Freundlich es capaz de describir la adsorción de compuestos orgánicos e inorgánicos en una amplia variedad de biosorbente (Febrianto et al., 2009). En la Tabla 4 se muestra los modelos de isotermas mencionados anteriormente:

### 5.2. Modelos de isotermas de adsorción.

Los modelos de isotermas de equilibrio generalmente se clasifican en ecuaciones empíricas y modelos basados en el mecanismo de biosorción de iones metálicos que permiten predecir la capacidad máxima de adsorción del biosorbente (Vimala & Das, 2009)

Tabla 4. Modelos de Isotermas

Isotermas	Ecuación	Parámetros
Isoterma de Freundlich	$Q_e = K_f \cdot C_e^{1/n}$	$K_f$ es el indicador para la capacidad de adsorción, $n$ es la intensidad de adsorción, $C_e$ es la concentración del metal.
Isoterma de Langmuir	$Q_e = \frac{Q_m \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e}$	Es la cantidad máxima de metal/peso de biomasa lignocelulósica, $b$ es la afinidad de los sitios de unión, $C_e$ es la concentración del metal

En las siguientes gráficas se puede observar que el efecto sobre las isotermas, es la variación de los dos parámetros de la ecuación de Freundlich (Juares, n.d.)

### 5.3. Cinética de adsorción

La cinética de adsorción se expresa como la velocidad de remoción del soluto, dependiente de las características físicas y químicas del adsorbente y sistema experimental (Febrianto et al., 2009). Asimismo, esta velocidad puede verse afectada por la temperatura, pH, concentración inicial, agitación, tamaño de las partículas, distribución del tamaño de los poros y variabilidad del efluente. En este sentido, se han propuesto diversos modelos cinéticos para describir los diversos mecanismos que ocurren en el proceso de adsorción, los cuales se muestran en la tabla 5.

### 5.3.1 Modelos cinéticos de adsorción.

Tabla 5. Modelos cinéticos de adsorción. (Foo y Hameed, 2012)

Modelo cinético	Ecuación	Parámetros
Pseudo-primer orden	$q_t = q_{\infty}(1 - e^{-k_1 t})$	Es la capacidad de adsorción en función al equilibrio (mmol/g), $k_1$ es la constante del pseudo primer orden (min <sup>-1</sup> )
Pseudo-segundo orden	$q_t = \frac{q_{\infty}^2}{\frac{1}{(k_2 q_{\infty}^2)} + t}$	$k_2$ llega a ser la constante de pseudo segundo orden (g/mmol.min), $q_{\infty}$ es la capacidad que adsorbe en equilibrio (mmol/g)
Ecuación de Elovich	$q_t = \frac{1}{\alpha} \beta \ln(\beta t + 1)$	$\alpha$ es la constante de la ecuación de Elovich (mmol/g min), $\beta$ es el exponente en la ecuación de Elovich (g/mmol)
Difusión intraparticulillar	$q_t = k \sqrt{t}$	$k$ es la constante de difusión

### 5.4 Microscopia de barrido electrónico

La importancia de conocer el tamaño de los poros radica en la capacidad de adsorción que tendrá también el proceso si estos poros son muy grandes solo se tendrá el material con limitada porosidad, por otro lado, si se tiene una estructura con una porosidad más pequeña esta abarcará más área de la estructura y así será posible mayor cantidad de adsorción de iones de Arsénico.

Para pasar de micras a escala de nanómetros beneficia en aumentar el área total de la porosidad del carbón permitiendo mayor adsorción, es por ello medición por microscopia de barrido electrónico que es importante realizar este proceso

Según María del Rosario, En la Figura se observan las micrografías SEM de AG0,75\_600 y AG1\_600 a una magnificación entre 400X y 1000X. La muestra AG0,75\_600 evidencia una mayor porosidad del material AG0,75\_600 - 400X), con cavidades que presentan en su interior poros de un diámetro aproximado 8  $\mu\text{m}$ . (Sun-kou et al., 2014)

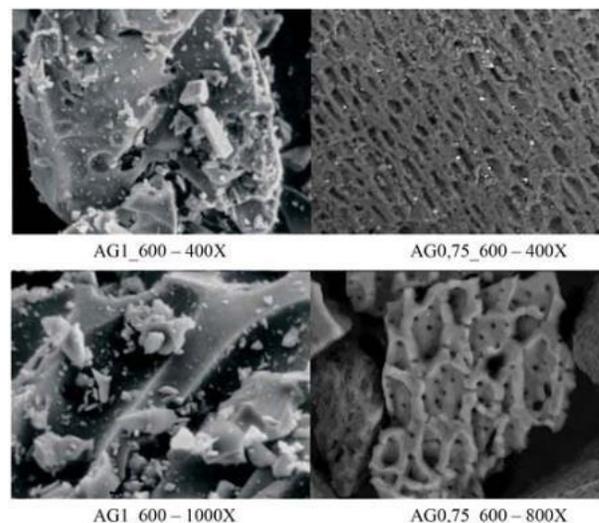


Figura 4. Fotografía de estructura carbonosa mediante microscopia de barrido electrónico

### 5.5. Mecanismo de la adsorción del carbón activado por ZnCl<sub>2</sub> de As (III)

Uno de los agentes activantes del ZnCl<sub>2</sub> en este caso

Los enlaces hidroxilos y enlaces HHO proviene de la composición química de cáscara de naranja, después al momento de pasar por una activación física en este caso con el ZnCl<sub>2</sub> como agente activante. Luego las moléculas de hidrogeno y moléculas de Cloruro se liberan hacia la solución acuosa formando la estructura Zn – O-As(III). Por otro lado, el medio acuoso se convierte en un estado de Ph ácido, por la liberación de las moléculas mencionadas anteriormente. Es así que se muestra el proceso de adsorción química.

Además, al haber sometido la estructura a altas temperaturas se generaron cavidades o estructuras porosas en el carbón activado esto representa a una adsorción netamente física donde los iones de arsénico serán depositados en los poros.(Xia et al., 2016)

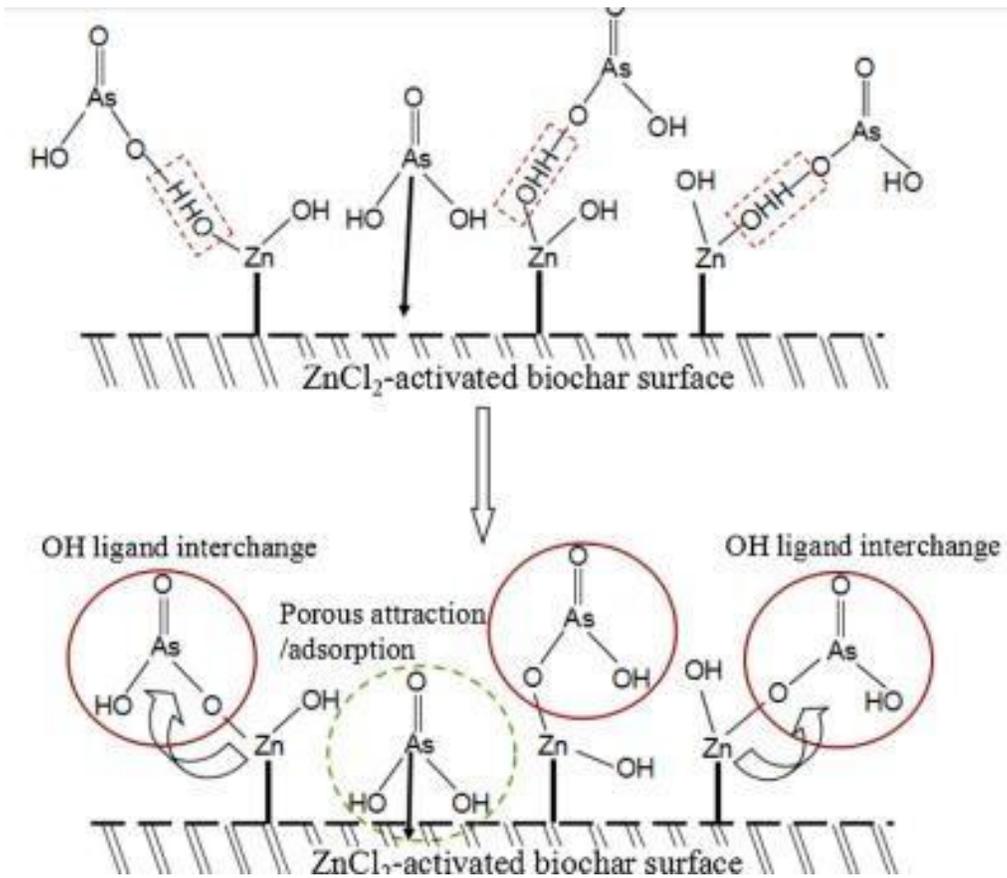


Figura 5. Mecanismo de la adsorción del carbón activado por ZnCl<sub>2</sub> de As (III)

## 6. Análisis de estudios realizados

Tabla 6. Tabla de comparación de estudios de carbón activado de los diferentes autores

Autores	Títulos	Material Adsorbente	Metal	Condiciones Operacionales				Conc. Adsorbente (g/L) ó (mg/L)	Conc. Inicial mg/L	Adsorción %
				T°C	pH	rpm	Tiempo de Contacto (horas)			
(Khormaei, Nasernejad, Edrisi, & Eslamzadeh, 2007)	Biosorción de cobre de soluciones acuosas por residuo de naranja agria		Cu	20 a 50	5	300	0.5h - 1.3h	5 g/L	100 mg/L	87%
(Schiewer & Patil, 2008)	Desechos de frutas ricas en pectina como biosorbentes para la eliminación de metales pesados: equilibrio y cinética	Cascara de Naranja	Cd	20	3 y 5	120	0.5 h	0.2 g/L	141 mg/L	75%
(Lasheen, Ammar, & Ibrahim, 2012)	Adsorción / desorción de Cd (II), Cu (II) y Pb (II) usando piel de naranja modificada químicamente: estudios de equilibrio y cinéticos		Cd					0.8 g/L	20 mg/L	81%
			Cu	25	5	200	1 h	0.5 g/L		90%
			Pb					0.1 g/L		100%
(Amin, Alazba, & Amin, 2017)	Comportamientos de absorción de cobre, plomo y arsénico en solución acuosa utilizando fibras de palma datilera y piel de naranja: cinética y termodinámica		Cu					0.1 a 2 g/L	10 a 50 mg/L	30 a 40 %
			Pb	30	6	220	2.5h			
			As (V)							

(Khaskheli, Memon, Siyal, & Khuhawar, 2011)	Uso de residuos de cáscara de naranja para la recuperación de arsénico del agua potable	As (V)	25	7	150	2 h	0.7 mg/L	1 mg/L	75%
---	---	--------	----	---	-----	-----	----------	--------	-----

En esta tabla podemos observar que existe estudios realizados de acuerdo a las variables mencionadas para la obtención de una optimización de adsorción en porcentaje y que entre los metales como Cd, Cu, As(V) y el Pb llega a tener la mayor adsorción de 100%

Tabla 7. Tabla de comparación de estudios de carbón activado acompañado de una modificación

Autores	Título	Material Adsorbente	Metal	Condiciones Operacionales				Conc. Adsorbente (mg/L)	Conc. Inicial mg/L	Adsorción %
				°C	pH	rpm	Tiempo de Contacto (horas)			
(Amparán, 2007)	Modificación con hierro de carbón activado para remover As en agua	Modificación con hierro a partir de madera de encino	As (V)	25	8.6	200	12	0.2	0.5	95%
(Vitela Rodríguez, 2011)	Remoción de arsénico por medio de carbón activado modificado con nanopartículas de hidro(óxidos) de hierro.	bagazo de Agave salmiana con nanopartículas de hidroxido de Hierro	As (V)	25 y 35	6,7 y 8		1 h	0.106	0.025	96%

En la tabla 7 podemos ver que existe estudios realizados de carbón activado modificados con químicos, pero considerando que el As (V) requiere realizarse a partir de un ph neutro para llegar a la optimización de adsorción de los iones del metal, pero observando que existe una diferencia de horas de contacto ya que es de acuerdo a los autores que investigaron.

## Discusión

En la tabla 6 el autor (Khormaei et al., 2007) en su estudio se deduce que existe una correlación con el estudio de (Mohan & Pittman, 2007) teniendo en cuenta las variables de ph, temperatura y porcentaje de adsorción.

En la tabla 6 se procedió a realizar una revisión de la literatura que se presenta en la Tabla 6, el cual contiene información de los diferentes estudios en donde se utilizó la biomasa lignocelulósica de naranja para la obtención del carbón activado. Además, son presentados en su respectiva aplicación para la remoción de metales como Cu, Pl, Cd, As (V), así como también el porcentaje de adsorción que estos autores han alcanzado. Estos trabajos fueron aplicados en aguas simuladas con los metales

Según el estudio realizado por Lasheen et al. (2012) que en Plomo hubo un mayor adsorción con el 100% , Cobre a un 90%, Cadmio con 81%. Pero también había una menor remoción de Cobre y Plomo pero con una diferencia de variables llegando a 30 y 40% del estudio Amin et al., (2017).

También para optimizar el proceso de adsorción, los estudios han investigado las variables o condiciones operacionales, dentro de ella el tiempo ha sido la variable relevante para realizar tratamientos en menor tiempo posible para que así sea más eficiente en la adsorción de los metales. En la investigación realizada por Lasheen et al. (2012), donde encontró que el tiempo optimo fue de 1 hora con mayor porcentaje de adsorción del metal de Cadmio, Cobre, y Plomo. Por otro lado, Amin et al. (2017) el obtuvo un tiempo óptimo para el proceso de 2 horas y 30 minutos. De esta manera evidenciar que al comparar dichos resultados nos damos cuenta que a mayor concentración inicial utilizada del metal menor será el porcentaje de adsorción, pero esto se debe a la saturación en los sitios de adsorción en la superficie del adsorbente.

Para el arsénico (V) se presentó una mayor remoción a Ph neutro, siendo que en el medio acuoso con este tipo de Ph tienen mayor adsorción, pero para la situación de los otros estudios el ph ácido les favorece en su proceso de adsorción, evidenciando que cada metal tiene un nivel de ph particular donde se realiza mayor adsorción.

En la tabla 7 se muestra dos estudios acerca de la adsorción de arsénico, pero las investigaciones muestran que sus materiales precursores que han tenido modificaciones, por ejemplo, el primero se utilizó carbón activado a base de madera de encino modificado con cloruro de hierro (II) tetrahidratado y el segundo es a partir de carbón activado de bagazo de agave salmiana modificado con nano partículas de hidróxido de Hierro y las dos investigaciones se hizo para adsorber Arsénico (V).

Según el estudio realizado por Amparán, (2007) que teniendo una concentración inicial fue de 0.5 mg/L en un tiempo de contacto 12 horas, obteniendo un 95% de adsorción y para el estudio de Vitela Rodríguez, (2011) con un 0.025 mg/L de concentración inicial en tan solo 1 hora, para obtener la adsorción de 96% siendo el más óptimo.

## Conclusiones

A través de la evaluación de los estudios se evidencia que el potencial de los residuos de biomasa lignocelulósica que vienen a ser de las cáscaras de frutas que puede sustituir algunos procesos de síntesis convencionales del carbón activado. Los beneficios de estos materiales ayudan a mejorar su capacidad de adsorción y en consecuencia lograr un porcentaje mayor de remoción de metales.

La adsorción en un proceso fisicoquímico que permite la captación de metales pesados por mecanismos de atracción entre el ion metálico y la superficie del adsorbente. Asimismo, estos mecanismos dependen de factores como el pH, temperatura, competencia entre iones y concentración del adsorbente.

A través de los estudios ya mencionados en las tablas se puede ver que si se requiere adsorber a un buen porcentaje se tiene que tener en cuenta las variables del tiempo de contacto, ph, temperatura, nivel de concentración inicial y la concentración adsorbente para la agitación.

También algún trabajo se tiene en cuenta que se podría realizar modificaciones con químicos para llegar a la optimización de una buena adsorción

### Recomendaciones

Buscar más fuentes bibliográficas, También emplear más horas de investigación sobre todo se recomienda enfocar en realizar investigaciones sobre el reaprovechamiento de materiales orgánicas en desuso para la parte técnica de implementación en investigaciones.

### Referencias

- Alarcón, M., Leal, L., Martín, I., Miranda, S., & Benavides, A. (2014). Arsénico en Agua: presencia, cuantificación analítica y mitigación. In *Cimav* (Vol. 2). Retrieved from [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro\\_2013-Arsenico\\_en\\_el\\_Agua\\_con\\_ISBN.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro_2013-Arsenico_en_el_Agua_con_ISBN.pdf)
- Amin, M. T., Alazba, A. A., & Amin, M. N. (2017). Absorption behaviours of copper, lead, and arsenic in aqueous solution using date palm fibres and orange peel: Kinetics and thermodynamics. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(2), 543–557. <https://doi.org/10.15244/pjoes/66963>
- Amparán, A. (2007). *Modificación con hierro de carbón activado para remover As en agua*. 86.
- Burgos, A. J., & Suárez, L. J. (2014). *Fichas Técnicas De Etapas De Proceso De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales De La Industria Textil*. 25. Retrieved from <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Adsorción+en+carbón+activo.pdf/29bfa658-fbd1-c98b-1606-8eb1252fc1b9>
- Carriazo, J. G., Saavedra, M. J., & Molina, M. F. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación Química*, 21(3), 224–229. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30087-9](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30087-9)
- Castillo, A. A., Delgado, R. S., Hernández, E. G., Domínguez, M. M., Baeza, J. M. G., Cruz, A. A., ... Martínez, A. M. M. (2012). Aprovechamiento Integral de los productos lignocelulosicos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 13(4), 140–150.
- Febrianto, J., Kosasih, A. N., Sunarso, J., Ju, Y. H., Indraswati, N., & Ismadji, S. (2009). Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2–3), 616–645. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.042>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2012). Preparation, characterization and evaluation of adsorptive properties of orange peel based activated carbon via microwave induced K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> activation. *Bioresource Technology*, 104, 679–686. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.005>
- González Navarrete, B. D. (2017). Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico. *Universidad De Chile Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Ingeniería Química Y Biotecnología Desarrollo*, 103.
- Gulbeyi Dursun, Handan C, A. Y. D. (2005). Adsorption of phenol from aqueous solution by using carbonised beet pulp. *Journal of Hazardous Materials*, 125(1–3), 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.05.023>
- Igwegbe, C. A., Onyechi, P. C., Onukwuli, O. D., & Nwokedi, I. C. (2016). Adsorptive Treatment of Textile Wastewater Using Activated Carbon Produced from Mucuna pruriens Seed Shells. *World Journal of Engineering and Technology*, 04(01), 21–37. <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.41003>
- Juares, H. B. (n.d.). *Diseño de un sistema de adsorción en carbón activado para la eliminación de cromo hexavalente en disolución acuosa*.
- Khaskheli, M. I., Memon, S. Q., Siyal, A. N., & Khuhawar, M. Y. (2011). Use of orange peel waste for Arsenic remediation of drinking water. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 423–433. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9081-7>
- Khormaei, M., Nasernejad, B., Edrisi, M., & Eslamzadeh, T. (2007). Copper biosorption from aqueous solutions by sour orange residue. *Journal of Hazardous Materials*, 149(2), 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.03.074>
- Lasheen, M. R., Ammar, N. S., & Ibrahim, H. S. (2012). Adsorption/desorption of Cd(II), Cu(II) and Pb(II) using chemically modified orange peel: Equilibrium and kinetic studies. *Solid State Sciences*, 14(2), 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2011.11.029>

- López, R. H. (2004). *Caracterización de Medios Porosos y Procesos Percolativos y de Transporte*. Retrieved from [http://linux0.unsl.edu.ar/~rlopez/cap1\\_2.pdf](http://linux0.unsl.edu.ar/~rlopez/cap1_2.pdf)
- Martínez Fierro, M. C. (2012). *Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas*. 280.
- Mohan, D., & Pittman, C. U. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents-A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 142(1–2), 1–53. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.006>
- Mora, H. E. G. (2004). *Estudio preliminar de carbón activado; situación en el Perú*. 82.
- Navarro-garro, A., Araya-rodríguez, F., Moreira-, C., Norte, H., & Rica, C. (2016). *Using GIS to determine forest and land loss around water springs administered by rural aqueducts in the Northern Zone of Costa Rica* *Uso de sistemas de información geográfica para determinar pérdida de bosque y suelo de las nacientes administradas por acue*. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i2.3199>
- O'Connell, D. W., Birkinshaw, C., & O'Dwyer, T. F. (2008). Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review. *Bioresource Technology*, 99(15), 6709–6724. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.036>
- Oliva Primera-Pedrozo, F. C.-C., Meza-Fuentes, E., & Fernández-Maestre, R. (2011). Carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(136), 387–396.
- Ríus, J. de la S. (2006). *tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*.
- Salas, m. B. A., & rodriguez, c. P. F. (2018). *Evaluación de la cáscara de naranja (citrus cinensis) como material adsorbente natural de ion metálico cu(ii)*.
- Schiewer, S., & Patil, S. B. (2008). Pectin-rich fruit wastes as biosorbents for heavy metal removal: Equilibrium and kinetics. *Bioresource Technology*, 99(6), 1896–1903. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.060>
- Sun-kou, R., Obreg, D., Luc, A., & Aylas-orej, J. (2014). Adsorción De Metales Pesados Empleando Carbones Activados Preparados a Partir De Semillas De Aguaje. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 80(4), 225–236.
- Torres, P., & Patiño, Camilo Hernán Cruz, P. J. (2018). CHAPTER 11: Time-dependent Restricted-active-space Self-consistent-field Theory for Electron Dynamics on the Attosecond Timescale. *RSC Theoretical and Computational Chemistry Series*, 2018-Janua(13), 386–423. <https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386>
- Universidad de Alicante. (2014). Desarrollo de nuevos adsorbentes y catalizadores basados en carbón activo. In *Portal de oferta tecnológica*.
- Universidad Sevilla. (2011). Manual Del Carbón Activo. *Aula.Aguapedia.Org*, 1–89. Retrieved from [http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10339/mod\\_resource/content/1/CARBoN ACTIVO DEFINITIVO tar.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10339/mod_resource/content/1/CARBoN ACTIVO DEFINITIVO tar.pdf)
- Vidal, M. V, Suarez, A. R., Barrios, K. M., & Pérez, J. O. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et Technica*, 23(3), 411–419. <https://doi.org/10.22517/23447214.17031>
- Vijayaraghavan, K., & Balasubramanian, R. (2015). Is biosorption suitable for decontamination of metal-bearing wastewaters? A critical review on the state-of-the-art of biosorption processes and future directions. *Journal of Environmental Management*, 160, 283–296. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.030>
- Vimala, R., & Das, N. (2009). Biosorption of cadmium (II) and lead (II) from aqueous solutions using mushrooms: A comparative study. *Journal of Hazardous Materials*, 168(1), 376–382. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.062>
- Vitela Rodríguez, A. V. (2011). *Remoción de arsénico por medio de carbón activado modificado con nanoparticulas de hidro(óxidos) de hierro*. 80. Retrieved from <http://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/11627/97/1/VitelaRodriguez.pdf>
- Xia, D., Tan, F., Zhang, C., Jiang, X., Chen, Z., Li, H., ... Wang, Y. (2016). ZnCl<sub>2</sub>-activated biochar from biogas residue facilitates aqueous As(III) removal. *Applied Surface Science*, 377, 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.03.109>