



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN Y EL TIEMPO
DE CONTACTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA
DE COCO EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS DE MÓRROPE**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

Bach. MARÍA SANTOS FIESTAS ECA

Bach. ANA LUCIA MILLONES ÑIQUEN

ASESORA:

Dra. TARCILA AMELIA CABRERA SALAZAR

LAMBAYEQUE - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN Y EL TIEMPO
DE CONTACTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA
DE COCO EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS DE MÓRROPE**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Dr. CESAR ALBERTO GARCIA ESPINOZA

Presidente

Ing. M. Sc. RUBEN DARIO SACHUN GARCIA

Secretario

Ing. M. Sc. MIGUEL ANGEL ARRIAGA DELGADO

Vocal

Ing. Dra. TARCILA AMELIA CABRERA SALAZAR

Asesora

DEDICATORIA

A Dios por iluminarme, darme fuerzas para superar los obstáculos y dificultades.

A mis padres Manuela Ñiquen y Juan Millones por su cariño, comprensión y apoyo incondicional.

A mis hermanos y hermanas: Juan Carlos, Pedro Joel, Virginia del Milagro y Luz Cristina quienes están a mi lado en cada meta planteada

Ana Lucia

A Dios por iluminarme, darme fuerzas para superar los obstáculos y dificultades.

A mis padres Vilma y José, mis hermanos y mi tía Felicita, por su cariño, comprensión y apoyo incondicional.

A dos de mis grandes seres queridos que partieron una vida mejor mi hermano Luis y mi abuelo Juan mis pilares para cumplir todas mis metas.

María Santos

AGRADECIMIENTO

Agradecer a la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y a la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias pilar fundamental de nuestro desarrollo personal y profesional.

A la Dra. Tarcila Amelia Cabrera Salazar, por su asesoramiento con sugerencias y consejos brindados en el transcurso de la investigación.

A la Dra. Juanitaflor Morales Cabrera por sus correcciones y sugerencias en nuestra investigación.

Al Bachiller en tecnología médica Jesús Fiestas Eca por su apoyo y facilitarnos la disponibilidad en equipos de laboratorio de DIRESA para el desarrollo de nuestra investigación.

Al Sr. Floriano por facilitarnos el laboratorio y proporcionarnos el tiempo para trabajar y poder desarrollar dicha investigación.

A todos los docentes quienes nos transmitieron sus conocimientos a lo largo de nuestra formación académica.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	1
LISTA DE TABLAS	2
LISTA DE ANEXOS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN.....	6
ANTECEDENTES	8
I BASE TEÓRICA.....	10
1.1 <i>Arsénico</i>	11
1.2 <i>Métodos de Remoción de Arsénico del Agua</i>	13
1.3 <i>Adsorción</i>	14
1.4 <i>Isotermas de Adsorción</i>	17
1.5 <i>Materiales Adsorbentes Utilizados en la Remoción de Arsénico</i>	20
1.6 <i>Carbón Activado</i>	21
1.7 <i>Remoción de Arsénico Mediante Carbones Activados</i>	24
1.8 <i>Determinación de Arsénico</i>	26
1.9 <i>Determinación de Arsénico por el Método de Azul de Molibdeno</i>	27
II MATERIAL Y MÉTODOS.....	28
2.1 <i>Descripción del ámbito de estudio</i>	29
2.2 <i>Diseño experimental</i>	32
III RESULTADOS.....	43
IV DISCUSIÓN.....	50
V CONCLUSIONES.....	53
VI RECOMENDACIONES.....	55
VII BIBLIOGRAFIA	57
VIII ANEXOS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formas alotrópicas del As y sus estructuras: gris, amarillo y negro.	12
Figura 2. Adsorción en carbón activado	14
Figura 3. Estructura interna de un carbón activado	22
Figura 4. Localización del centro poblado de Mórrope	29
Figura 5. Ubicación geográfica de los pozos de Mórrope	30
Figura 6. Pozo antiguo de Cruz del Médano (1377721-005).....	30
Figura 7. Recolecta de muestra de agua del pozo del centro poblado de Cruz del Médano.....	31
Figura 8. Diagrama del proceso de obtención y activación de carbón activado de la cáscara de coco.....	36
Figura 9. Diagrama de proceso de adsorción de ácido acético con carbón activado	41
Figura 10. Concentración inicial vs % Remoción del carbón activado de cáscara de coco	45
Figura 11. Remoción de arsénico con carbón activado de concentración 2, 4, 6 g/L y Tiempo de contacto 1 h.....	46
Figura 12. Remoción de arsénico con carbón activado de concentración 2, 4, 6 g/L y Tiempo de contacto 2h.....	46
Figura 13. Remoción de arsénico con carbón activado de concentración 2, 4, 6 g/L y Tiempo de contacto 3h.....	47
Figura 14. Remoción de arsénico vs concentración de carbón activado a distintos tiempos	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características entre Arseniato (V) y Arsenito (III).....	12
Tabla 2. Métodos de Remoción de Arsénico en el Agua	13
Tabla 3. Diferencias entre Adsorción Física y Química	16
Tabla 4. Algunos factores que afectan en proceso de adsorción.....	17
Tabla 5. Ejemplos de Separación de Adsorción.....	18
Tabla 6. Comparación de la capacidad de adsorción de arsénico mediante uso de diferentes materiales adsorbentes.....	21
Tabla 7. Usos del Carbón Activado	23
Tabla 8. Carbón activado utilizado en remoción de arsénico de acuerdo a su origen	25
Tabla 9. Diseño experimental.....	32
Tabla 10. Análisis próximo carbón activado.....	44
Tabla 11. Porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de coco	45
Tabla 12. Análisis factorial de varianza	48
Tabla 13. Resultados ANOVA.....	49

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Caracterización del carbón activado	66
ANEXO 2. Capacidad de adsorción por índice de ácido acético	68
ANEXO 3. Construcción de la isoterma de Langmuir y Freundlich.....	71
ANEXO 4. Cálculo de soluciones para la determinación de arsénico en agua	78
ANEXO 5. Determinación de la concentración de arsénico por método de azul de molibdeno.....	80
ANEXO 6. Cálculos Estadísticos	82
ANEXO 7. Proceso de obtención del carbón activado.....	85
ANEXO 8. Caracterización del carbón activado	89
ANEXO 9. Determinación del índice de ácido acético con el carbón activado	90
ANEXO 10. Determinación de arsénico por el método de azul de molibdeno.....	92

RESUMEN

En el presente trabajo se investigó la influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope. Inicialmente se obtuvo carbón activado a partir de la cáscara de coco empleándose 1109 g de cáscara obteniéndose una cantidad aproximada de 487 g de carbón activado lo que representa un rendimiento del 43.91% en todo el proceso, el cual se constituyó de las siguientes etapas: Pre-incineración, trituración, activación química, carbonización, secado y molienda. Para determinar la influencia de la concentración y el tiempo de contacto en la remoción de arsénico. Se seleccionaron dieciocho muestras del agua de pozo de Mórrope (Cruz del Médano - Lambayeque) y se realizó el análisis del contenido de arsénico antes y después del tratamiento utilizando el método de azul de molibdeno por espectrofotometría UV, se evaluaron tres concentraciones de carbón activado de cáscara de coco: 2, 4, 6 g/l y tres tiempos de contacto: 1, 2 y 3 horas realizando dos repeticiones por tratamiento y luego se filtró. El filtrado obtenido se sometió a un análisis de contenido de arsénico con ayuda del método azul de molibdeno, concluyendo que de los dos factores estudiados la concentración de carbón activado comparado con el tiempo influye de manera significativa en la remoción de arsénico, presentando el porcentaje de remoción más alto 72% (6 g/l en 3 hora), ya que la concentración de arsénico inicialmente fue de 0.11mg/L y finalmente fue de 0.0297mg/L.

ABSTRACT

In the present work, the influence of concentration and contact time of coconut shell activated carbon in the removal of arsenic from groundwater of Mórrope was investigated. Initially, activated charcoal was obtained from the coconut husk using 1109 g of husk, obtaining an approximate quantity of 487 g of activated carbon, which represents a yield of 43.91% in the whole process, which was constituted by the following stages: -incineration, crushing, chemical activation, carbonization, drying and grinding. To determine the influence of concentration and contact time in the removal of arsenic. Eighteen samples of the well water from Mórrope (Cruz Del Médano - Lambayeque) were selected and the analysis of the arsenic content before and after the treatment was carried out using the molybdenum blue method by UV spectrophotometry, three concentrations of activated carbon were evaluated. Coconut husk: 2, 4, 6 g / l and three contact times: 1, 2 and 3 hours making two repetitions per treatment and then filtered. The filtrate obtained was subjected to an analysis of arsenic content using the blue molybdenum method, concluding that of the two factors studied, the concentration of activated carbon compared with time significantly influences the removal of arsenic, presenting the percentage of highest removal 72% (6 g / l in 3 hours), since the arsenic concentration was initially 0.11mg / L and finally it was 0.0297mg / L.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se ha confirmado la presencia de arsénico en el agua que beben los pobladores de cinco caseríos de Mórrope. Los resultados de la evaluación realizada por el Instituto Nacional de Salud (INS) revelan que, de las 191 muestras tomadas, 160 arrojaron positivo: mujeres, hombres y niños que sin buscarlo terminaron con arsénico. (Muños, 2018). Ello ha generado un creciente interés sobre los efectos que la exposición crónica de este elemento causa, convirtiéndose así en un problema de salud pública.

La presencia de arsénico en agua no es acompañada por color, olor, ni por cambios de sabor, representando un significativo peligro para la salud de la población.

La contaminación del agua con arsénico es un fenómeno que ocurre de manera natural, y acarrea un gran riesgo para la salud debido a que su consumo prolongado es peligroso para la población debido a que es un compuesto tóxico y que estos pobladores no tienen conocimiento de él.

Según el informe técnico N°6830 “Estudio Hidrogeológico del Distrito de Mórrope” presentado por el INGEMMET en agosto del 2018 de los 12 pozos ubicados en el distrito de Mórrope los que presentaron mayores concentraciones de arsénico total superior a 0.05 mg/L fueron los pozos ubicados en Cruz del Médano: Pozo proyecto Nuevo (1377721-002) y Pozo Antiguo (1377721-005); destacando este último por presentar 0.1128 mg/l, representando un significativo peligro para la salud de la población, ya que es un compuesto tóxico.

El arsénico inorgánico se produce en el ambiente de varias formas, pero en las aguas naturales, y por lo tanto en el agua potable, se encuentra más frecuentemente como arsénico trivalente (As (III)) o arseniato pentavalente (As (V)).

La problemática presentada es determinar si la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco influyen significativamente en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope.

Por tal motivo se plantea el objetivo general evaluar la influencia que ejerce la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope. Para lo cual considera los siguientes objetivos específicos: determinar las propiedades fisicoquímicas del carbón activado obtenido de cáscara de coco, determinar la capacidad de adsorción del carbón activado mediante el índice de ácido acético, analizar la influencia de la concentración del carbón activado en la remoción del arsénico de las aguas subterráneas de Mórrope y evaluar la influencia del tiempo de contacto del carbón activado en la remoción del arsénico de las aguas subterráneas de Mórrope.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido como máxima concentración de arsénico en agua para consumo humano de 0.010 mg/L y por lo tanto la reducción de los niveles de arsénico en aguas para consumo humano representa uno de los retos ambientales prioritarios a nivel mundial; es por ello necesario llevar a cabo estudios encaminados a la remoción de arsénico del agua encontrando un método de fácil aplicación para la remoción de arsénico en el agua en la cual se pretende probar su eficiencia brindando una alternativa económica, ecológica y viable, y que además permitirá saber que tan bueno es el mismo para mejorar la calidad del agua potable de esta localidad mediante procesos como la adsorción, debido a que es una tecnología eficiente y económica.

Es por ello la importancia de investigar la influencia de concentración y tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico en aguas subterráneas que algunos distritos peruanos hacen uso en la vida diaria, y así disminuir el índice de enfermedades a largo plazo.

Se concluye que tanto la concentración como el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco influyen de manera significativa en la disminución de la concentración de arsénico presentes en aguas subterráneas y que esta acción acompañado de estos parámetros puede ser aprovechado para ser aplicada a escala mayor por la población requerida.

ANTECEDENTES

Aguirre Achaquihui, N. Y. (2017), evalúa la adsorción de metales pesados como Pb y As mediante carbon activado apartir de eucalipto, para ello utilizó 2 g de carbón activado que se pusieron en contacto con 500 ml de solución acuosa de plomo y arsénico en un tiempo de agitación de 2 horas y 300rpm de velocidad, permitiendo obtener carbones activados con capacidad de adsorción de metales pesados como Pb y As; removiendo el 98,7 % y el 70,3% de As en soluciones acuosas en un tiempo de agitación de 75 a 120 minutos y a un pH tendiente a ácido de 4,97 y 5,6.

Bareto Pio, C. E. (2014), en su estudio para la obtención del carbón activado apartir de la pepa de aceituna realizó con dos agentes activantes químicos diferentes (Ácido fosfórico y Cloruro férrico), el cuál se determinó en función a la naturaleza de los contaminantes a tratarse (Plomo y Arsénico). Los ensayos de adsorción se realizaron en un sistema batch en cada caso se utilizó 0,50 g de carbón activado que se pusieron en contacto con 500 mL de solución contaminada con 2mg/L de (plomo y/o arsénico) a temperatura ambiente (20°C), ajustándose la solución a un pH = 4.00. La activación del hueso de la aceituna con agentes activantes químicos como el H_3PO_4 y Cl_3Fe permiten obtener carbones activados con capacidad de adsorción de metales pesados como As; lográndose remover el 67,50 % de As en soluciones acuosas.

Gonzales Navarrete, B. D. (2017), en su estudio para el desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico, realizó a partir de aserrín de pino y cáscara de arroz bajo métodos de activaciones físicas, bajo flujo de N_2 y CO_2 y activaciones químicas por impregnación de $ZnCl_2$ y H_3PO_4 que posteriormente fueron modificados con hierro. El estudio seleccionó el aserrín de pino en base a su alta pureza usando una concentración de 1 g/l y un tiempo de 90 minutos, los carbones CAP- CO_2 y CAP-Zn mostraron bajos niveles de adsorción (21%), por lo que se mejoraron bajo el método de impregnación de hierro. Los carbones oxidados e impregnados mostraron una mayor remoción de As (82%).

Rojas Cerda, K. V. (2016), en su estudio para valorar la eficiencia de carbón activado de júcaro sabanero (*Crescentia alata*) y su combinación con óxidos de hierro para la remoción de arsénico en agua, utilizó dos tamaños de carbón activado (2-4 mm y 0,6 mm) en agua. El mayor porcentaje de remoción de arsénico se obtuvo aplicando el tratamiento secuencial primeramente con óxidos de hierro y después carbón activado artesanalmente a base de cáscara de júcaro (*Crescentia alata*) con porcentajes de remoción de 50 % y 58 %, ya que utilizando solo carbón activado obtuvo porcentajes de remoción de 27% y 31%.

I BASE TEÓRICA

1.1 *Arsénico*

El arsénico es un metaloide grisáceo con brillo metálico, el cual se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza asociado con metales como oro, cobre, plomo, hierro, níquel y zinc (Amparán Ochoa, 2007) y se encuentra presente en 4 diferentes estados de valencia que son: As^{3-} , As^0 , As^{3+} y As^{5+} donde predomina el arsenato, As^{5+} y arsenito, As^{3+} (Oscoco Choque, 2014).

1.1.1 *Química del arsénico*

El arsénico (As, número atómico 33, peso atómico 74,922) es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera (aprox. $5 \times 10^{-4}\%$ de la corteza terrestre) (González Navarrete, 2017) y es uno de los elementos que se encuentra entre los 20 más abundantes de la tierra (Oscoco Choque, 2014).

El estado de oxidación del arsénico, y por tanto su movilidad, están controlados fundamentalmente por las condiciones redox (potencial redox, Eh) y el pH. La principal vía de dispersión del arsénico en el ambiente es el agua. La concentración del arsénico en aguas naturales es muy variable y dependerá de las formas de arsénico en el suelo local (Alarcón Herrera, 2013).

1.1.2 *Arsénico en las aguas superficiales y subterráneas*

La presencia de As en aguas subterráneas en elevadas concentraciones es considerada un problema mundial. Este elemento entra en contacto con los acuíferos a través de vías geotérmicas, geohidrológicas y factores biogeoquímicos (Vitela Rodríguez, 2011).

El arsénico presente en aguas superficiales (ríos, lagos, embalses) y subterráneas (acuíferos) con frecuencia son utilizados como fuentes de

abastecimiento para consumo humano. En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, la especie más común es el arsénico pentavalente o arsenato (As^{+5}). Bajo condiciones de reducción, generalmente en los sedimentos de los lagos o aguas subterráneas se presenta en la forma de arsénico trivalente o arsenito (As^{+3}). (Amparán Ochoa, 2007)

Tabla 1

Características entre Arseniato (V) y Arsenito (III)

Arseniato (V)	Arsenito(III)
Se encuentran con más frecuencia en aguas superficiales	Es más probable en aguas subterráneas anaerobias.
Están cargadas negativamente	Son eléctricamente neutras en agua.
Mayor eficiencia de remoción	Poca eficiencia de remoción debido a sus propiedades eléctricas.

Nota. Elaboración propia.

1.1.3 Aspectos químicos del arsénico

El arsénico puede presentarse en tres estados alotrópicos: gris, negro y amarillo. El más estable es el gris, como una masa cristalina, de aspecto metálico, brillante y frágil. El estado negro es un polvo amorfo que a 360° se convierte al estado gris. El arsénico amarillo se oxida a temperatura ambiente por la acción del aire y revierte al estado gris por la acción de la luz (Gasque Silva, 2013) .

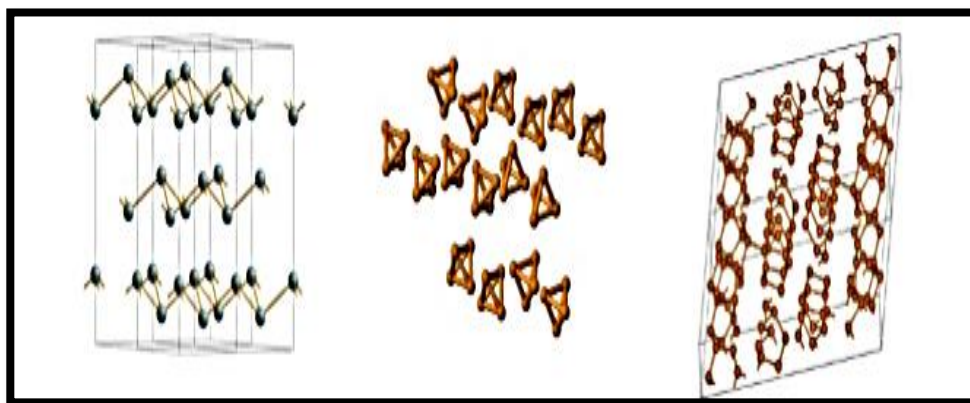


Figura 1. Formas alotrópicas del As y sus estructuras: gris, amarillo y negro. Recuperado de “Educación química” p.496, por Gasque, S 2013.

1.1.4 Toxicidad del arsénico

El arsénico es altamente tóxico y su presencia en aguas subterráneas es un problema que afecta al mundo. La toxicidad de este elemento está relacionada a su forma química y estados de oxidación. Biológicamente el As (III) es considerado 60 veces más toxico que el As (V) y a su vez, los compuestos inorgánicos son 100 veces más tóxicos que los compuestos orgánicos (Vitela Rodríguez, 2011).

El arsénico es un veneno acumulativo que afecta a casi todos los órganos, tejidos y sistemas. La exposición a arsénico puede ser aguda, si la dosis de arsénico es elevada y en un corto tiempo, o crónica, si la dosis de arsénico es baja y en un largo tiempo (Garcia Salgado, 2013).

1.2 Métodos de Remoción de Arsénico del Agua

A partir del conocimiento de las concentraciones de arsénico en las distintas partes del mundo, así como la toxicidad de este, se han realizado una gran cantidad de estudios para su remoción, encontrando diversas tecnologías para su eliminación del agua potable (Pimentel Cervantes, 2006).

Tabla 2

Métodos de Remoción de Arsénico en el Agua

Tecnologías de tratamiento para la remoción de arsénico en agua

Ablandamiento con cal mejorado.

Alúmina Activada.

Ósmosis Inversa.

Adsorción.

Intercambio Iónico.

Nota. Adaptado de “Producción y caracterización de carbón activado a partir de residuos agroindustriales (fibra de nopal) para la remoción de arsénico en el agua” p.18, por Silva, J. 2017(Tesis de Licenciatura). Instituto Politécnico Nacional.

1.3 Adsorción

La adsorción es una técnica de remoción rápida que además incurre en costos comparativamente bajos con respecto a las otras tecnologías. Se destaca la factibilidad de implementarse ampliamente en distintos lugares (Figuerola Leigh, 2013).

Se define adsorción como un proceso mediante el cual se concentra una sustancia sobre la superficie de otra fase sólida o líquida. La sustancia que se concentra en la superficie recibe el nombre de adsorbato y la fase que la retiene es llamada adsorbente (García Rojas, Villanueva Díaz, Campos Medina, & Velázquez Rodríguez, 2012).

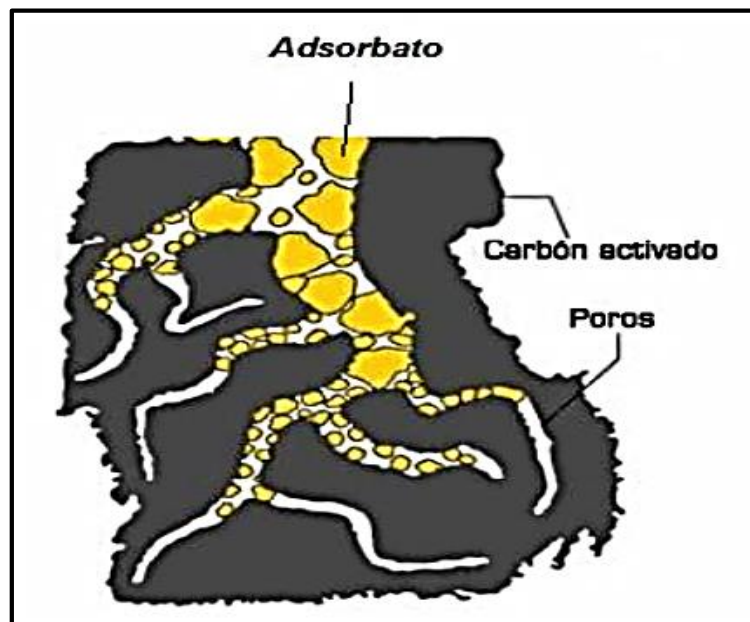


Figura 2. Adsorción en carbón activado. Recuperado de "Producción y caracterización de carbón activado a partir de residuos agroindustriales (fibra de nopal) para la remoción de arsénico en el agua." p. 19, por Silva, J.2017 (Tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional.

1.3.1 *Tipos de adsorción*

La adsorción puede clasificarse en fisisorción y quimisorción dependiendo de la naturaleza de las fuerzas que interactúan entre el compuesto en solución líquida o gaseosa y la fase sólida (Ríos Hurtado, 2013).

i. Fisisorción o adsorción física

Una capa de moléculas se acumula en la superficie del sólido. En la superficie del sólido las moléculas del soluto son atraídas por la fuerza de atracción (Silva Muñoz, 2017), o llamadas también principalmente por las fuerzas de Van der Waals y electrostáticas, dándose estas entre las moléculas del adsorbato y los átomos que componen la superficie del adsorbente. (García Rojas, 2012).

ii. Quimisorción o adsorción química

Es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. Se lleva a cabo cuando la sustancia se une a la superficie mediante fuerzas covalentes. (García Rojas, 2012).

Tabla 3***Diferencias entre Adsorción Física y Química***

Fisorción	Quimisorción
Enlaces débiles. Interacciones de van der Waals.	Enlaces fuertes de corto alcance
Entalpía de adsorción está entre los 10 y 20 kJ/mol.	Entalpía de adsorción se encuentra entre 40 y 400 kJ/mol.
Al incrementar la temperatura, se reduce la adsorción. Es un proceso reversible.	Un incremento en la temperatura puede favorecer la adsorción. Es un proceso irreversible.
La adsorción toma lugar en cualquier punto del adsorbente.	La adsorción se lleva a cabo en puntos específicos en la superficie.
Se lleva a cabo en una monocapa o en multicapa.	Se realiza la adsorción en una monocapa.
No existen reacciones superficiales tales como de neutralización, descomposición, etc.	Pueden darse reacciones superficiales (disociación, catálisis, reconstrucción, etc.)
El adsorbato mantiene su identidad.	El adsorbato cambia su estructura química respecto al precursor.

Nota. Recuperado de “Estudio de la Adsorción de Compuestos Aromáticos Mediante Carbón Activado Preparado a Partir de la Cáscara de Castaña” p.14, por Paredes, A. 2011 (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú.

1.3.2 Factores que afectan la adsorción

La adsorción depende de la naturaleza y la estructura del adsorbente, de las propiedades físico - químicas del adsorbido y del medio en el cual la adsorción debe efectuarse.

El medio puede intervenir modificando las propiedades físico - químicas del adsorbente (solubilidad, carga superficial, carácter hidrófobo/hidrófilo). (García Rojas, 2012)

El pH parece ser el parámetro más importante en los procesos de Biosorción. Este afecta la química de la solución metálica, la actividad de los grupos funcionales en la biomasa y la competencia de los iones metálicos (Trelles Bautista, 2013).

Tabla 4*Algunos factores que afectan en proceso de adsorción*

Propiedad	Influencia en el Proceso de Adsorción
Temperatura	Las reacciones de adsorción generalmente son exotérmicas, por lo que una disminución en la temperatura aumenta la adsorción (Weber, 1974).
pH	Regula el grado de ionización de las especies de las especies a adsorber (Weber, 1974)
Fuerza Iónica	Determina la intensidad de la adsorción, pues la adsorción relativa es proporcionalmente más intensa en soluciones diluidas que concentradas (weber, 1974).
Grupos Funcionales en la superficie del adsorbente	Estos grupos influyen en las características de la superficie tales como: humectabilidad, polaridad, acidez; y en las propiedades fisicoquímicas como: reactividad catalítica, eléctrica y química de estos materiales (Bansal y Goyal, 2005)
Área específica del Adsorbente	El alcance de la adsorción es directamente proporcional al área específica del material adsorbente. (Weber, 1974).

Nota. Recuperado de “Estudio del grado de oxidación de materiales microporosos para el anclaje de hidro (óxidos) de hierro: remoción de arsénico” p.21, por Ríos, J. 2013 (Tesis de Maestría). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

1.3.3 *Equilibrio de Adsorción*

En el proceso de adsorción, las moléculas del adsorbato comienzan a adsorberse en la superficie del sólido (adsorbente) a una cierta velocidad mientras que otras moléculas ya adsorbidas comienzan a liberarse.

Conforme pasa el tiempo, la velocidad de adsorción disminuye y la velocidad de desorción aumenta hasta que se alcanza un equilibrio entre ambas (Vitela Rodríguez, 2011).

1.4 *Isotermas de Adsorción*

La isoterma de adsorción es la relación matemática entre la masa de soluto adsorbido y la concentración del soluto en la fase no adsorbida una vez que se ha alcanzado el equilibrio a una temperatura constante. (Acevedo Corredor, 2014).

- *Isotermas de Adsorción en un Sistema Solido-Gas*

La adsorción desde la solución es generalmente una reacción de intercambio. Para que una molécula se adsorba deber desplazar a moléculas de agua de la superficie, las moléculas de gas interactúan directamente con la superficie. Normalmente es un proceso exotérmico Puede ser exotérmico o endotérmico (Avena, 2014).

- *Isotermas de Adsorción en un Sistema Solido-Líquido*

La adsorción en un sistema sólido - líquido es un proceso frecuente (ya que muchos contaminantes se encuentran en solución), pero a su vez es más complejo que en un sistema sólido-gas. Esto se debe a que el solvente podría participar en el proceso de adsorción cooperativa compitiendo con el o los solutos por ocupar los centros activos del adsorbente (Paredes Doig, 2011).

Tabla 5
Ejemplos de Separación de Adsorción

Sólido – Gas	Sólido – Líquido
Eliminación de olores e impurezas desagradables de gases industriales como dióxido de carbono.	Decoloración de productos de petróleo y soluciones acuosas de azúcar.
Deshumidificación de aires y otros gases.	Eliminación de humedad disuelta en gasolina.
Recuperación de vapores valiosos de disolvente a partir de mezclas diluidas con aire y otros gases.	Fraccionamiento de mezclas de hidrocarburos aromáticos y parafínicos.
La adsorción toma lugar en cualquier punto del adsorbente.	Eliminación de sabor y olor desagradables del agua.

Nota. Elaboración Propia.

1.4.1 Ecuación de Freundlich

La más usual para describir las características de adsorción del carbón activado empleado en el tratamiento de aguas residuales es la Isoterma de Freundlich. (Grisales Motato, 2016).

Una de las primeras ecuaciones propuestas para relacionar la cantidad adsorbida con la concentración del adsorbato en la solución (Mendieta Narvaez, 2008):

$$q_e = kC_e^{1/n}$$

Ec. 1.1

Donde: q_e es la capacidad de adsorción del soluto (mg adsorbato/ g de adsorbente), C_e es la concentración en el equilibrio (mg/L), k y n son las constantes de Freundlich para la capacidad de adsorción e intensidad de adsorción, respectivamente (Vitela Rodríguez, 2011).

1.4.2 Ecuación de Langmuir

Una ecuación mucho más exacta para las isothermas del tipo I, la dedujo Irving Langmuir por consideraciones teóricas, esta ecuación guarda importancia para la teoría de fisisorción, así como la quimisorción, la cual fue derivada por medio de cálculos estadísticos y termodinámicos (Mendieta Narvaez, 2008).

$$q_e = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e}$$

Ec. 1.2

Donde: q_e es la capacidad de adsorción del soluto (mg adsorbato/ g de adsorbente), C_e es la concentración en el equilibrio (mg/L), q_{max} es la máxima capacidad de adsorción (mg adsorbato/ g de adsorbente), b es la constante de adsorción de Langmuir (L/mg). (Vitela Rodríguez, 2011).

1.5 Materiales Adsorbentes Utilizados en la Remoción de Arsénico

Diversos materiales a base de carbono han demostrado ser capaces de remover el arsénico de efluentes, sin embargo, no son altamente eficientes, por lo cual es también necesario buscar aquellos que remuevan una buena cantidad de arsénico en el agua (Ríos Hurtado, 2013).

Varios estudios demuestran la posibilidad de desarrollar materiales con adecuadas capacidades de adsorción a partir fuentes naturales, despertando el interés para explorar estos materiales alternativos, que permitan reducir o eliminar los contaminantes de naturaleza metálica u orgánica, contenidos en aguas residuales. (Valladares Cisneros, 2016).

- ***Tipos de Adsorbentes***

- Carbón activado.
- Alúmina activada.
- Otros minerales (Arenas y Zeolitas).
- Biomasas (Algas, Hongos, Bacterias).
- Biopolímeros (Quitina y Quitosano).

Tabla 6

Comparación de la capacidad de adsorción de arsénico mediante uso de diferentes materiales adsorbentes

Adsorbente	Capacidad de adsorción [mg/g]
Carbón Activado	2.5
Impregnado con Fe (III)	4.5
Resina Quemante Cargada con Fe (III)	60
TiO ₂	41
Goethita	442.8
Carbón de Cascara de coco	2.4
Ferrihidrita	68.8

Nota. Adaptado de “Estudio del grado de oxidación de materiales microporosos para el anclaje de hidro (óxidos) de hierro: remoción de arsénico” p.22, por Ríos, J. 2013 (Tesis de Maestría). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

1.6 Carbón Activado

El carbón activo son materiales porosos, amorfos y preparados químicamente para que tengan un elevado grado de porosidad y alta superficie específica interna. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo componen, le dan la propiedad de atraer y atrapar ciertas moléculas del fluido que rodea al carbón. (García López, 2017).

El carbón activado se prepara por distintos métodos, los cuales le imparten un aumento de porosidad y en consecuencia mayor poder de adsorción por su gran superficie de contacto y de la interacción entre adsorbente y adsorbato. (Gonzales Mora, 2004).

1.6.1 Estructura del Carbón activado

El carbón activado es un adsorbente preparado a partir de materiales carbonosos que se caracteriza por poseer una alta superficie interna, variedad de grupos funcionales y una buena distribución de poros, propiedades que le permiten atrapar una gran diversidad de moléculas. (Bastidas, 2009).

Las principales propiedades que debe tener un carbón activado son:

- Alta capacidad de adsorción.
- Distribución adecuada de poros.
- Alta concentración de sitios activos (grupos químicos que contienen oxígeno u otro tipo de heteroátomos).
- Bajo contenido de material inorgánico o cenizas. (Gómez A. R., 2010).

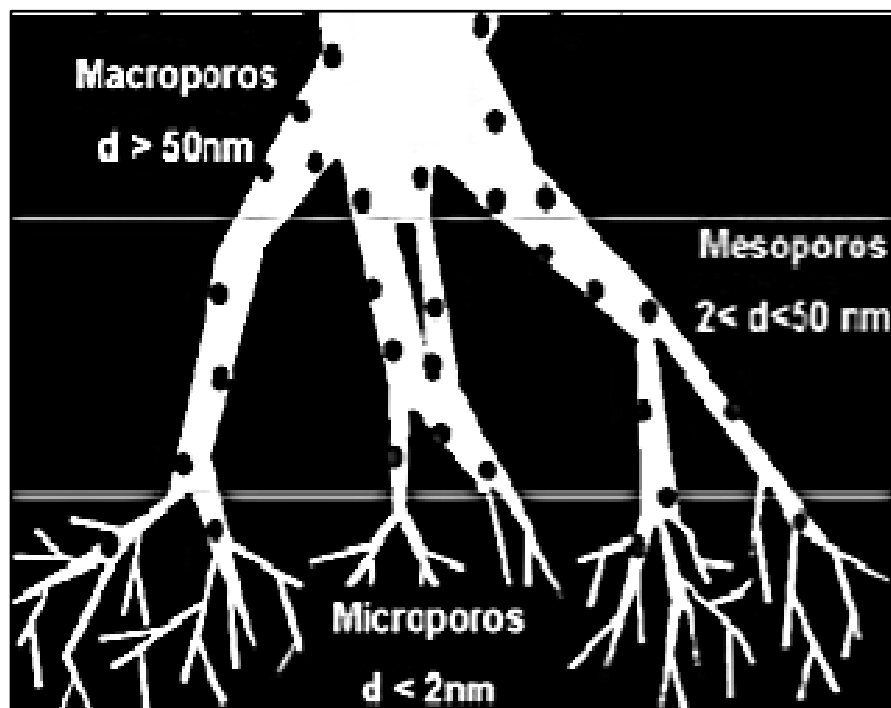


Figura 3. Estructura interna de un carbón activado. Recuperado de "Preparación y caracterización de carbón activado granular obtenido a partir de cuesco de palma africana (*Elaeis Guineensis*) para la adsorción de CO_2 " p.24, por Acevedo, A.2014.

1.6.2 Importancia y uso del carbón activado

Las necesidades de la industria pueden ser satisfechas mediante la posibilidad de preparar estos materiales cuyas propiedades adsorbentes del producto pueden ser adaptadas para satisfacer necesidades (Gómez A. R., 2010).

Dentro de los principales usos de los carbones activados destacan la refinación, la potabilización de aguas, tratamiento de aguas servidas, además de retener emisiones gaseosas que deterioran la atmósfera. El carbón activado es ya calificado como un ecomaterial por el gran beneficio del que deriva su utilización (Gonzales Mora, 2004).

Tabla 7
Usos del Carbón Activado

Medio Líquido	Medio Gaseoso
Decoloración de azúcar	Almacenamiento y separación de gases.
Tratamiento de aguas residuales	En máscaras antigás
Purificación de grasas y aceites comestibles	Desodorizante de productos alimenticios.
Separación de elementos metálicos (oro, plata).	Absorción en fase gaseosa.
Tratamiento de agua potable y contaminada.	

Nota. Elaboración propia.

1.6.3 Composición Química

El carbón activado es caracterizado químicamente de dos maneras:

- a) Por análisis de composición elemental: Análisis de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno.
- b) Por análisis de componentes formados o eliminados por calor: Este método basa su análisis en el hecho de que los componentes del carbón se separan o descomponen por acción del calor. Estos componentes, son el carbono fijo, los materiales volátiles y las cenizas (Gonzales Mora, 2004).

1.6.4 *Síntesis de carbón activado*

Los carbones activados son materiales con estructura carbonosa amorfa. Éstos pueden ser sintetizados a partir de cualquier material rico en carbono y sus propiedades físicas y químicas son influenciadas por la materia prima y el proceso de activación (Bricio Barrios, 2010), así mismo los carbones activados obtenidos industrialmente pueden provenir de madera y residuos forestales u otro tipo de biomasa, así como de diferentes polímeros y fibras naturales o sintéticas (Mojica Sánchez, y otros, 2012).

1.7 *Remoción de Arsénico Mediante Carbones Activados*

El adsorbente más ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas residuales es el carbón activo, no obstante, cabe señalar: su capacidad para trabajar eficazmente a concentraciones bajas de contaminante, su flexibilidad frente a las variaciones de caudal y concentración, sus moderadas necesidades de espacio y la facilidad de automatización (Alvarado, 2015).

Tabla 8*Carbón activado utilizado en remoción de arsénico de acuerdo a su origen*

Carbón activado de acuerdo a su origen	Principal aplicación en el tratamiento de agua	Observaciones
Madera de pino	Agua residual con colores intensos y/o con cantidades sustanciales de grasas, aceites y otros compuestos de alto peso molecular. Potabilización de agua superficial con alto contenido de materia orgánica natura	Se requiere un carbón activado macro poroso, ya que los contaminantes mencionados tienen un tamaño molecular relativamente grande. Usado en la industria textil, de alimentos y de petróleo. Como este carbón activado es poco duro se aplica en polvo
Carbón mineral lignítico	Agua residual cuyos contaminantes sean muy diversos, como es el caso de las de procedencia municipal.	Este carbón activado tiene poros de muy diversos tamaños, por lo que es el adecuado en el caso de que los contaminantes sean de una gran gama de tamaños moleculares. La dureza de este carbón es relativamente baja.
Carbón mineral bituminoso	Agua residual en la que predominen contaminantes de peso molecular intermedio. Potabilización de agua superficial o con un ligero color producido por algas.	La mayoría de los poros de este CA están en el rango bajo de la meso porosidad. Es menos duro que el de coco, pero más adecuado cuando hay una alta proporción de contaminantes no volátiles.
Concha de coco	Potabilización de agua de pozo. Eliminación de olor, sabor y compuestos volátiles en agua superficial. Agua residual contaminada con solventes volátiles o con otras moléculas de bajo peso molecular.	Es el carbón con más proporción de micro poros, por lo tanto, es el más adecuado para retener moléculas pequeñas. Es el carbón utilizado cuando solamente se requiere decolorar, ya que es el más duro y resistente a la abrasión.

Nota. Recuperado de “Producción de carbón activado a partir de la cascara de coco para la filtración de agua residual 2014” P.51, por Alvarado, A., Berrospi D., Cabello, E., Córdova, R., Obando, L., y Paucar, S.2015 (Scribd). Universidad Nacional del Callao.

1.8 *Determinación de Arsénico*

Los métodos espectrofotométricos Ultravioleta (UV) se encuentran entre las metodologías más empleadas en la detección de As en aguas para consumo, debido a su simplicidad y economía.

Para la determinación analítica solo es necesario disponer de un espectrofotómetro UV, un equipo accesible y económico para la mayoría de los laboratorios. Entre ellos tenemos:

1.8.1 *Método de Gutzeit*

Este método transforma el arsénico presente en el agua en arsina (AsH_3) con la ayuda de un agente reductor. Como la producción del gas arsina es bastante selectiva, se produce de esta manera una separación importante del arsénico de gran parte de la matriz. El gas es expuesto posteriormente a un papel embebido con bromuro de mercurio lo que produce un compuesto intensamente coloreado negro. (Martinez, 2005).

1.8.2 *Método del dietilditiocarbamato de plata*

Este método puede aplicarse en muestras de agua potable, superficial, subterránea y residual, y tiene un límite de detección de 5 ppb. La aplicación de esta técnica implica la manipulación de ácidos concentrados, acetato de plomo, y la generación de arsina, por lo que deben tomarse las medidas de seguridad apropiadas. Además, requiere material de laboratorio específico, lo cual dificulta el empleo de la técnica en el lugar de recolección de la muestra (Muzzio, 2017).

1.8.3 *Método del azul de molibdeno*

El método del azul de molibdeno constituye una forma simple, rápida, de bajo costo, portátil y sensible para determinar el As inorgánico en muestras de agua, ya que solo requiere un fotómetro pequeño y reactivo barato. (Muzzio, 2017).

1.9 *Determinación de Arsénico por el Método de Azul de Molibdeno*

Es la absorción de la arsina formada sobre una solución de bromato de potasio con HCl, donde se produce la oxidación del arsénico a su estado pentavalente. Es un método espectrofotométrico basado en la formación del complejo arsenicomolíbico de color azul, entre el arseniato y el molibdato de amonio en presencia del sulfato de hidracina (reductor). Interfieren fosfatos y silicatos que forman complejos similares con el reactivo y deben ser separados (González, 2011).

Es el método con mayor sensibilidad y precisión a diferencia de los demás, método utilizado es efectivo para la precipitación de los metales pero no remueve en su totalidad el arsénico presente.

II MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Descripción del ámbito de estudio

Este estudio se realizó en el centro poblado de Cruz del Médano, Distrito de Mórrope - Lambayeque, la cual se encuentra a una distancia de 26.1 km de Lambayeque y a 33.9 km de Chiclayo, donde se sitúa el Pozo Antiguo de agua (1377721-005) cual destaca por presentar 0.1128 mg/l de arsenico.

2.1.1 Localización del centro poblado de Cruz del Médano - Mórrope

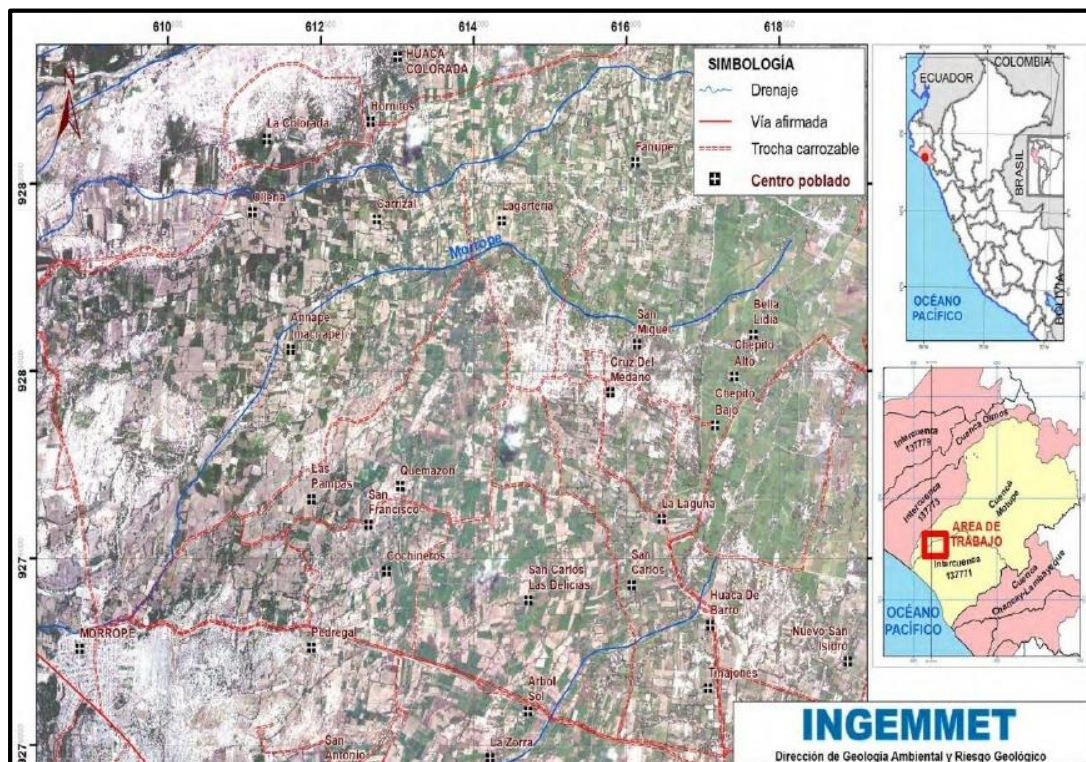


Figura 4. Localización del centro poblado de Mórrope. Recuperado de “Contaminación del agua subterránea en el centro poblado Cruz del Médano del distrito de Mórrope.” p. 11, por Acuña, E. y otros. 2018 (Taller de investigación). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

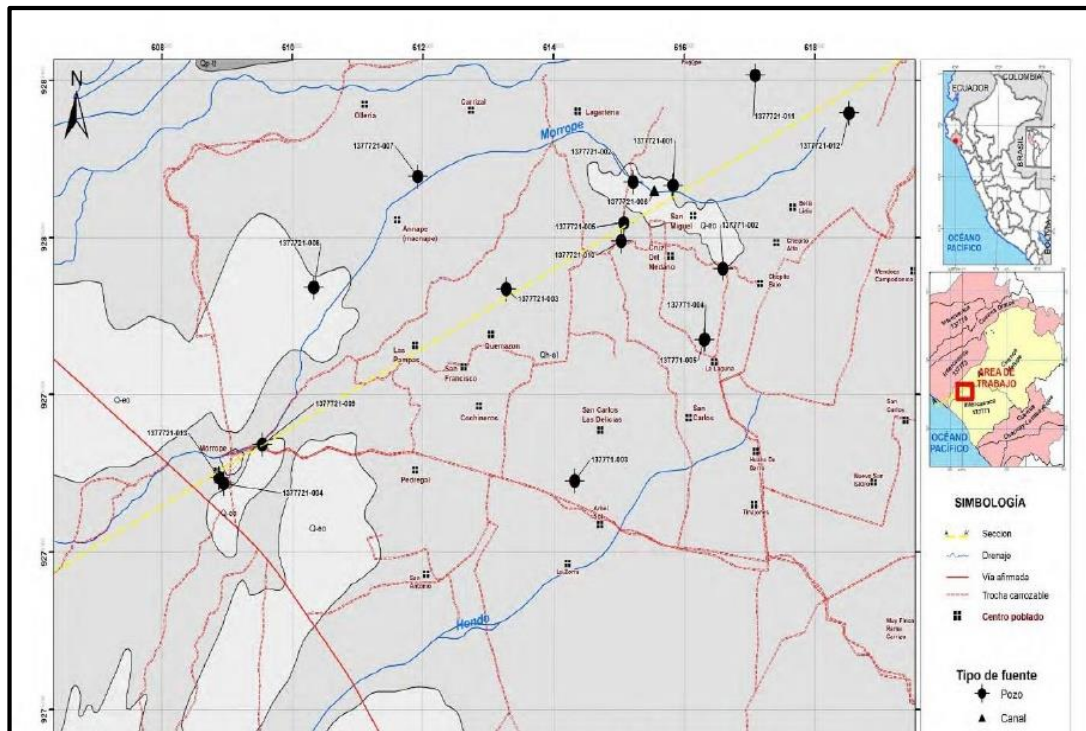


Figura 5. Ubicación geográfica de los pozos de Mórrope. Recuperado de “Contaminación del agua subterránea en el centro poblado Cruz del Médano del distrito de Mórrope.” p. 12, por Acuña, E. y otros. 2018 (Taller de investigación). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

2.1.2 Tipo de estudio

El estudio es de tipo experimental La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque.



Figura 6. Pozo antiguo de Cruz del Médano (1377721-005).



2.1.3 Población y Muestra

2.1.3.1 Población

La población del estudio está determinada por las aguas subterráneas de Mórrope (Cruz del Médano) – Lambayeque contenidas de arsénico

2.1.3.2 Muestra

Las muestras que se utilizaron para la experimentación se recolectaron del pozo antiguo del centro poblado de cruz del Médano - Mórrope y se depositaron en frascos de plásticos con una capacidad de 1000 ml. La muestra fue preservada con 2 ml de HNO_3 por litro de muestra para su traslado en termo con hielo hasta para su respectivo análisis.

La unidad muestral se obtuvo colocando en contacto las muestras de aguas contenidas de 0.11mg/L de arsénico con las diferentes concentraciones de carbón activado 2g/l, 4 g/l y 6 g/l a tiempos de contacto de 1 h, 2 h y 3 h. obteniéndose así la información necesaria para la remoción, se realizaron 18 ensayos en total con carbón activado.



Figura 7. Recolecta de muestra de agua del pozo del centro poblado de Cruz del Médano

2.1.4 Variables

2.1.4.1 Variable Independiente

- Concentración del carbón activado.
- Tiempo de contacto del carbón activado.

2.1.4.2 Variable Dependiente

- Remoción de arsénico de agua subterránea.

2.2 Diseño experimental

Las mejores condiciones para la adsorción de arsénico con carbón activado a partir de cáscara de coco se determinaron mediante el uso de un diseño factorial $3 \times 3 = 9$. Una respuesta (el porcentaje de remoción) fue estudiada mediante la variación de 2 factores (concentración y tiempo de contacto del carbón activado) a diferentes niveles, como se muestra:

A \ B	A1	A2	A3
B1	A1. B1	A2. B1	A3. B1
B2	A1. B2	A2. B2	A3. B2
B3	A1. B3	A2. B3	A3. B3

Dónde:
A: Concentración del carbón activado.
B: Tiempo de contacto.

Diseño factorial 3 x 3: 9

Tabla 9

Diseño experimental

Número de Muestras	Variable independiente	
	concentración del carbón activado (g/L)	Tiempo de contacto(horas)
1	2	1
2	2	2
3	2	3
4	4	1
5	4	2
6	4	3
7	6	1
8	6	2
9	6	3

Nota. Elaborado por los autores.

Para determinar las concentraciones antes y después del tratamiento de las muestras de agua seleccionadas se partió de una solución de concentración conocida de 1000 mg As/L la cual se preparó de una ampolleta de titrisol, a partir de ella se prepararon soluciones intermedias llegando a una concentración de 0.1 mg/l, de las cuales se prepararon las distintas diluciones en el intervalo de concentración (0,01 y 0,100 mg/L); a partir de estas se midieron las absorbancias para determinar gráficamente la ecuación de la recta y de esta manera conociendo las absorbancias se determinara las concentraciones de arsénico presente en las muestras de agua.

Se prepararon 9 muestras realizadas a tres concentraciones de carbón activado (0.4, 0.8 y 1.2) gramos de carbón activado por cada 200 ml de agua de pozo. Y durante tres tiempos de contacto (1 h, 2 h y 3 h).

Estos ensayos se realizaron por duplicado en botellas plásticas de 250 mL. Pasado su tiempo de contacto se filtraron cada una respectivamente.

Mediante el método del azul de molibdeno se utilizó 50 mL de volumen de muestra tratada carbón activado obtenido en laboratorio con Cl_3Fe a una concentración de 85% en relación 1:2 (por cada gramo de muestra pre carbonizada 2 ml de agente activante) durante 2 horas a 450°C.

Para lo cual se añadieron dos gotas de anaranjado de metilo en solución y luego se neutralizó con hidróxido de amonio diluido, hasta color amarillo del indicador, Posteriormente, se añadió, gota a gota, ácido clorhídrico hasta color rojo, 10 mL de ácido clorhídrico diluido y 1 mL de solución de bromato de potasio.

Luego, se calentó a temperatura de aproximadamente 50 °C para la oxidación del anaranjado de metilo y del arsénico; en caliente se adicionaron 5 mL de molibdato de amonio y se homogeneizó la solución, Finalmente, se añadieron 2 mL de solución de sulfato de hidracina y se mantuvo durante 10 minutos en baño de agua hirviendo; se dejó enfriar a temperatura ambiente y se enrazó (Ramírez Gonzalez, 2016). Después de haber transcurrido el tiempo de contacto se procedió a filtrar.

Las muestras de pozo sin tratar y con tratamiento de carbón activado fueron llevadas al Laboratorio referencial DIRESA ubicado en Av. Salaverry, Chiclayo para su respectivo análisis midiendo la concentración de arsénico de las diluciones con luz ultravioleta (UV) en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 660nm. De acuerdo con los datos obtenidos se procedió a graficar la curva de calibración respectiva. (ANEXO 5).

2.2.1 Materiales

- Soporte universal.
- Buretas.
- Pipetas de 5, 10, 20 ml.
- Espátula.
- Vasos precipitados de 100 ml
- Crisoles de porcelana
- Embudo de vidrio
- Papel filtro grado 42, Whatman
- Fiolas: 50, 100, 1000ml
- Matraz Erlenmeyer de 250, 125 ml
- Probeta de 25, 50, 100 ml
- Tamiz.
- Vagueta.
- Termómetro (rango entre 0 °C a 200 °C).

2.2.2 *Reactivos*

- Agua destilada.
- Cloruro Férrico (Cl_3Fe) 85 %.
- Solución de Ácido acético (CH_3COOH) 0.15 M.
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.25 M.
- Ácido oxálico ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$).
- Ácido Clorhídrico (HCl) 1.0 N.
- Anaranjado de Metilo.
- Solución de Hidróxido de Amonio.
- Solución de Bromato de Potasio.
- Solución de Molibdato de Amonio.
- Solución de Sulfato de Hidracina.

2.2.3 *Equipos*

- Espectrofotómetro UV.
- Balanza analítica.
- Cocina Eléctrica.
- Estufa.
- Mufla.
- Medidor de pH - metro.
- Molino.
- Agitador mecánico.

2.2.4 Obtención y activación de carbón activado producido a base de cáscara de coco

La obtención de carbón activado se debe partir de una materia prima bien definida tales como estructuras inherentes de poros, alto contenido de carbono bajo contenido de cenizas y alto rendimiento de masa durante el proceso de carbonización. La composición química del carbón vegetal depende fundamentalmente de tres factores: Materia prima utilizada, temperatura de carbonización, agente activante, tecnología de carbonización; que a su vez depende de la velocidad de calentamiento. Tiempo de residencia en el horno y forma de escape de sustancias volátiles. (Aguirre Achaquihui, 2017).

La obtención y activación del carbón activado se determinó mediante el siguiente procedimiento:

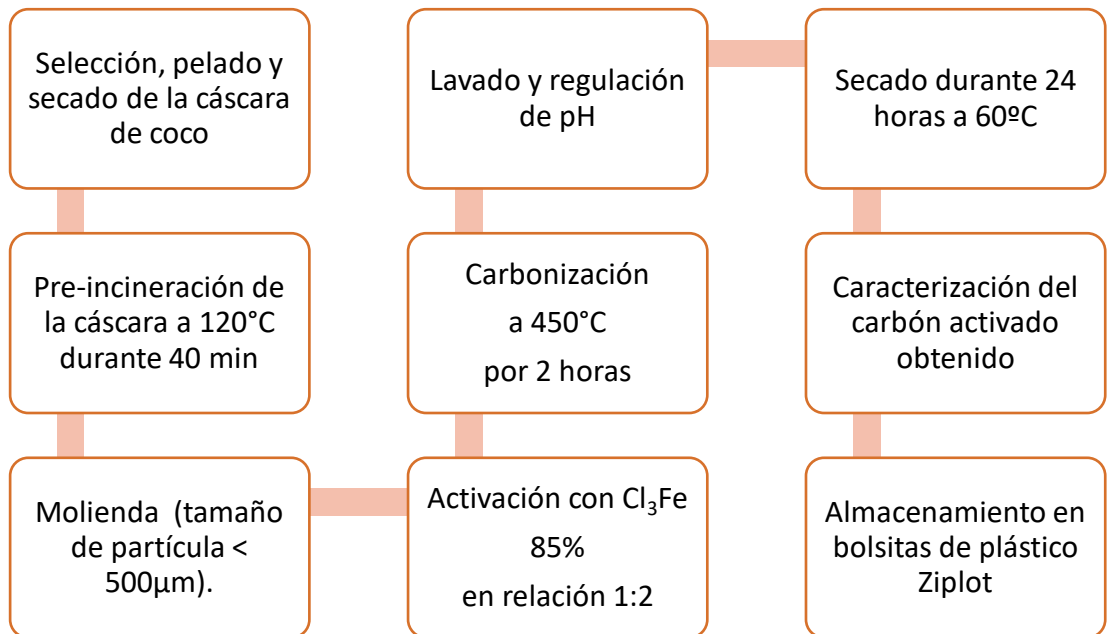


Figura 8. Diagrama del proceso de obtención y activación de carbón activado de la cáscara de coco.

- Rendimiento total del proceso

Se pesaron las cáscaras de coco con la que se inició la investigación utilizando una balanza analítica que cuenta con un porcentaje de error de 0.01 gr. Posteriormente se procedió a pesar el carbón activado de cáscara de coco obtenida durante todo el proceso. Para calcular el rendimiento total del proceso se aplicó la siguiente formula:

$$\% R = \frac{\text{masa de carbon obtenido}}{\text{masa inicial de materia prima}} \times 100\%$$

2.2.5 Procedimiento para la caracterización del carbón activado

Para identificar y evaluar las propiedades del carbón activado se caracterizó para tener información de referencia sobre esta especie e inferir sobre la influencia de su composición en la síntesis.

- Porcentaje de humedad

La determinación del porcentaje de humedad se realizó en una balanza de precisión, se pesaron aproximadamente 2 g. de muestra húmeda y se colocaron en un crisol vacío. Se introdujo la muestra en la estufa a 105°C durante por lo menos 3 horas. (García López, 2017). Después de retirar la muestra del horno, se dejó enfriar en un desecador y se pesó de nuevo. Esta operación se repite hasta obtener un peso constante. Se realizaron 3 réplicas.

$$\% \text{Humedad} = \frac{CM1 - CM2}{CM1} \times 100\%$$

Dónde:

CM1: Cápsula con muestra húmeda.

CM2: Cápsula con muestra seca.

- Porcentaje de materia volátil

La determinación de volátiles se realizó calentando un crisol con tapa y una muestra de 2 gramos por 30 minutos en una mufla a 950°C hasta rojo vivo.

Se sacó el crisol de la mufla con ayuda de las pinzas, luego se enfrió en el desecador hasta la temperatura ambiente y pesó nuevamente en un tiempo no mayor de 2 minutos, luego se volvió a pesar el crisol con la muestra y su tapa para obtener la cantidad de volátiles.

$$\% \text{Material Volatil} = \frac{mi - mr}{muestra} \times 100\%$$

Dónde:

mi: Masa del crisol con su tapa y la muestra en gramos.

Mr: Masa del crisol con su tapa y el residuo en gramos.

m: Masa de muestra seca en gramos.

- Porcentaje de cenizas

Se pesó en un crisol tarado 1 g de cada muestra seca. Se llevó a la mufla a 650 °C de 3 a 16 horas (se considera que la incineración es completa cuando el peso sea constante). Se sacó y llevó rápidamente a un desecador hasta enfriarse. Se pesó a temperatura ambiente. (Hernández Rodríguez, 2017).

$$\% \text{Cenizas} = \frac{C3 - C1}{C2} \times 100$$

Dónde:

C1: Masa del crisol vacío en gramos.

C2: Masa la muestra en gramos.

C3: Masa del crisol con las cenizas en gramos.

- Porcentaje de carbón fijo

El carbono fijo se obtuvo por diferencia una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles. (García López, 2017).

$$\%CF = 100 \% - (\%H + \%MV + \%CC)$$

Dónde:

%H: Porcentaje de Humedad.

%CF: Porcentaje de Carbono fijo.

%MV: Porcentaje de Materia volátil.

%CC: Porcentaje de Contenido de cenizas.

- Densidad aparente

Es el peso en g/cm³ de carbón totalmente seco en aire, es decir incluye el volumen de los poros y el de los espacios entre las partículas. Esta variable es la base para establecer el volumen de cama necesaria para una masa de carbón activo granular.

También sirve como referencia para la identificación de carbones activos de calidad, ya que densidades mayores entregan un mejor volumen de actividad. (García López, 2017).

$$\rho = \frac{m(g)}{V(mL)}$$

2.2.6 Procedimiento para la adsorción de ácido acético con carbón activado

En el proceso de adsorción intervienen las propiedades de los compuestos que se requiere extraer, las características del adsorbente y las condiciones de contacto entre las fases fluida y sólida. Propiedades del adsorbato tales como peso molecular, concentración, solubilidad en el líquido, al igual que las propiedades del sólido adsorbente (tales como distribución de tamaño de poros y los grupos químicos de superficie entre otras) son determinantes en la mayor o menor afinidad del adsorbato por el sólido adsorbente. (Aguirre Achaquihui, 2017).

En la investigación se determinó la isoterma de adsorción del ácido acético, así como el comportamiento de esta sustancia adsorbida con la ecuación de adsorción de Freundlich y de Langmuir. La isoterma de adsorción se determinó mediante el siguiente procedimiento:

Primero se prepararon una serie de disoluciones con concentraciones conocidas a las que añadiremos carbón activado que se mantendrán en suspensión y sobre cuya superficie tendrá lugar el fenómeno de la adsorción

Los ensayos de adsorción de ácido acético con el carbón activado se realizó utilizando seis muestras de 2 g (± 0.5) de carbón activado utilizando probetas distintas, midiendo consecutivamente los volúmenes de ácido acético 0.15 M (100, 80, 60, 40, 20 y 10 ml) y agua destilada (0, 20, 40, 60, 80 y 100 ml) respectivamente.

Seguidamente las muestras se colocaron en contacto en un agitador múltiple a 100 rpm durante 45 a 60 minutos, finalizada la etapa de adsorción las fases fueron separadas por filtración encontrando así la concentración de ácido acético en equilibrio con el carbón activo ($[\text{CH}_3\text{COOH}]$ equilibrio) por valoración con NaOH (aq) y posteriormente se añadió 2 gotas de indicador fenolftaleína. Se repitió estos pasos con las disoluciones 2-6 (D'Acunha, 2010).

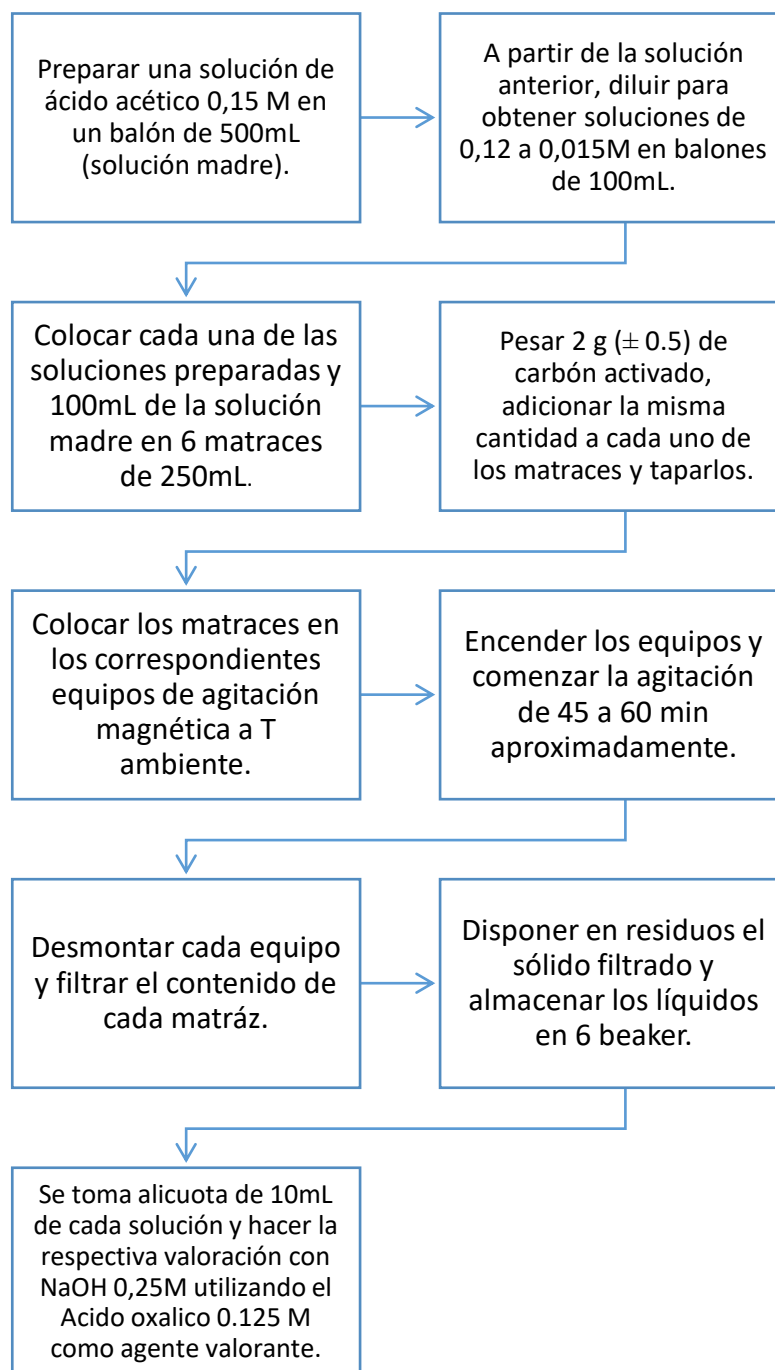


Figura 9. Diagrama de proceso de adsorción de ácido acético con carbón activado

2.2.7 Preparación de las soluciones patrón de arsénico

Las soluciones se prepararon a partir de una solución patrón de 1 000 mg As; As₂O₅ en agua, MERCK 1.09939.0001. De la cual, se preparó una solución de 1 000 µg As/L, la cual se utilizó para preparar las diluciones, se calculó los volumen iniciales para preparar dichas soluciones aplicando la siguiente formula.

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f$$

Dónde:

C_i: Concentración inicial

V_i: Volumen inicial.

C_f: Concentración final.

V_f: Volumen final.

III RESULTADOS

- **Características del carbón activado:**

La tabla muestran los principales parámetros especificados para el carbón activado obtenido de la cáscara de coco el cual cumple con las especificaciones de un carbón activado para el tratamiento de aguas y normas de análisis, tales como ASTM D-2866 (cenizas en rango de 3 -15%), ASTM D- 2867 (humedad en rango de 2-15%) ASTM D-2854 (densidad aparente de 0.26 -0.65 g/cm³) .Así como los carbones activos pueden presentar superficies específicas del orden de 500 m²/g a 2000 m²/g e incluso llegar a los 3000 m²/g. Los elevados valores de superficie específica se deben a la porosidad que presentan los materiales carbonosos. (Velázquez Trujillo, 2010).

Tabla 10

Análisis próximo carbón activado

PROPIEDADES	%
%humedad	7.41
% volátiles	13.73
% cenizas	4.33
Carbón fijo	74.53
Área superficial	1267.19 m ² /g carbón
Densidad aparente	0.39g/ml

Nota. Elaborado por los autores.

- **Capacidad de adsorción del carbón activado por medio del índice de ácido acético**

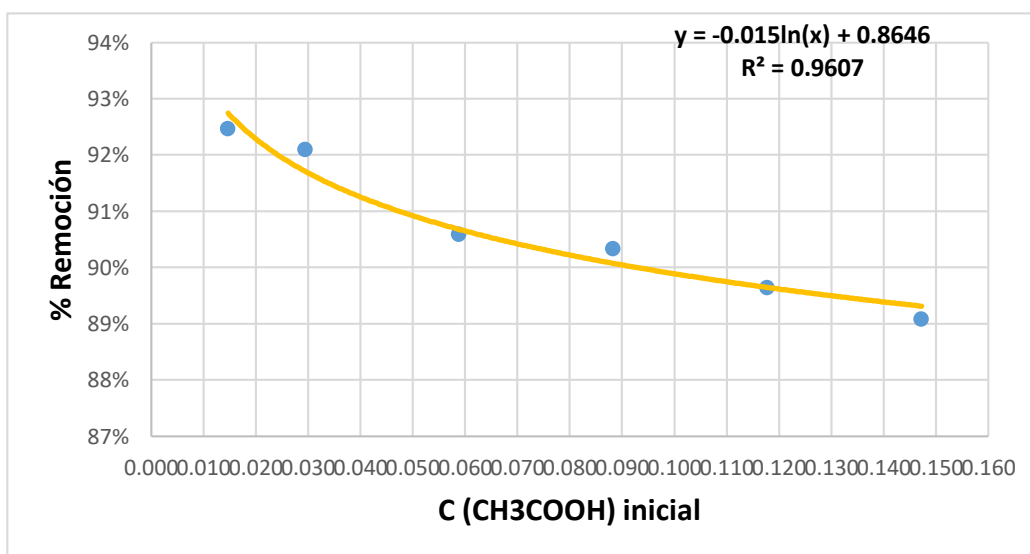
La tabla muestra los datos necesarios para determinar el % remoción del carbón activado obtenido de la cáscara de coco.

Tabla 11*Porcentaje de adsorción del carbón activado de cáscara de coco*

Carbón (g)	V CH ₃ COOH (mL)	V Agua (mL)	C (CH ₃ COOH) inicial	%remoción
2.03	100	0	0.147	89%
2	80	10	0.118	90%
2.02	60	40	0.088	90%
2.01	40	60	0.059	91%
2.03	20	80	0.029	92%
2.01	10	90	0.015	92%

Nota. Elaborado por los autores.

La figura 10 evalúa el % remoción vs Concentración inicial del ácido acético, como se puede evidenciar el porcentaje de adsorción aumenta a medida que se tienen concentraciones bajas del ácido, lo cual es coherente puesto que en bajas concentraciones se tiene menos disponibilidad de moles y además estas están más dispersas en la solución puesto que tiene mayor espacio libre de las mismas.

*Figura 10.* Concentración inicial vs % Remoción del carbón activado de cáscara de coco.

- **Porcentaje de remoción de arsénico evaluando tiempos y concentraciones**

En las figuras 11, 12 y 13 se puede observar que la concentración del carbón activado es un factor que influye de manera significativa en la remoción de arsénico debido a que a mayor es la concentración mayor es el porcentaje de remoción. Esto se corrobora con la literatura.

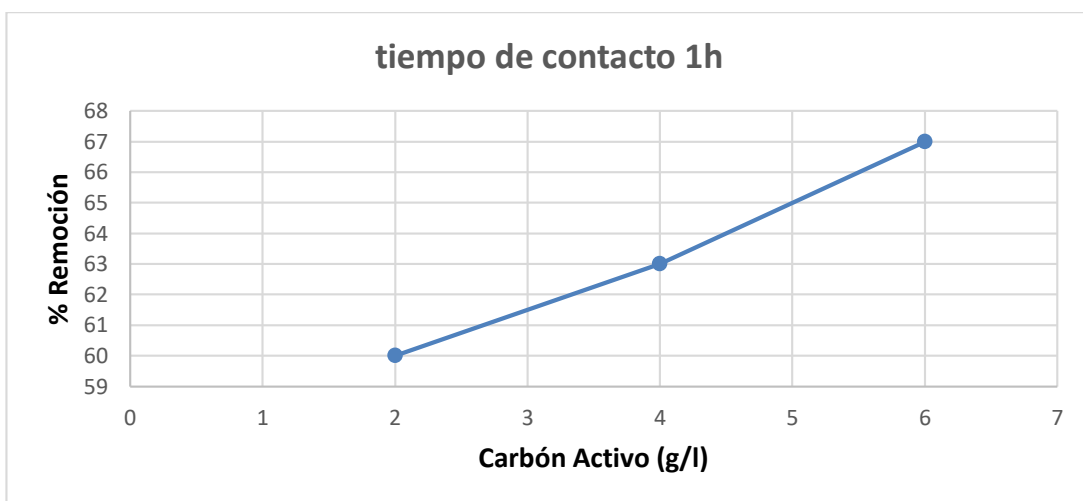


Figura 11. Remoción de arsénico con carbón activado de concentración 2, 4, 6 g/L y Tiempo de contacto 1 h.

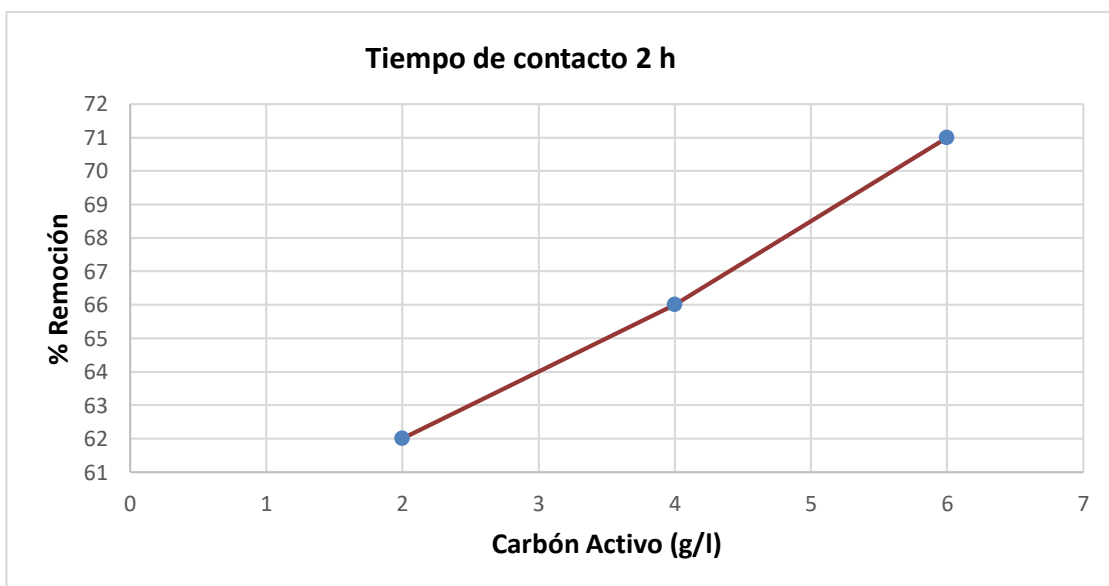


Figura 12. Remoción de arsénico con carbón activado de concentración 2, 4, 6 g/L y Tiempo de contacto 2h.

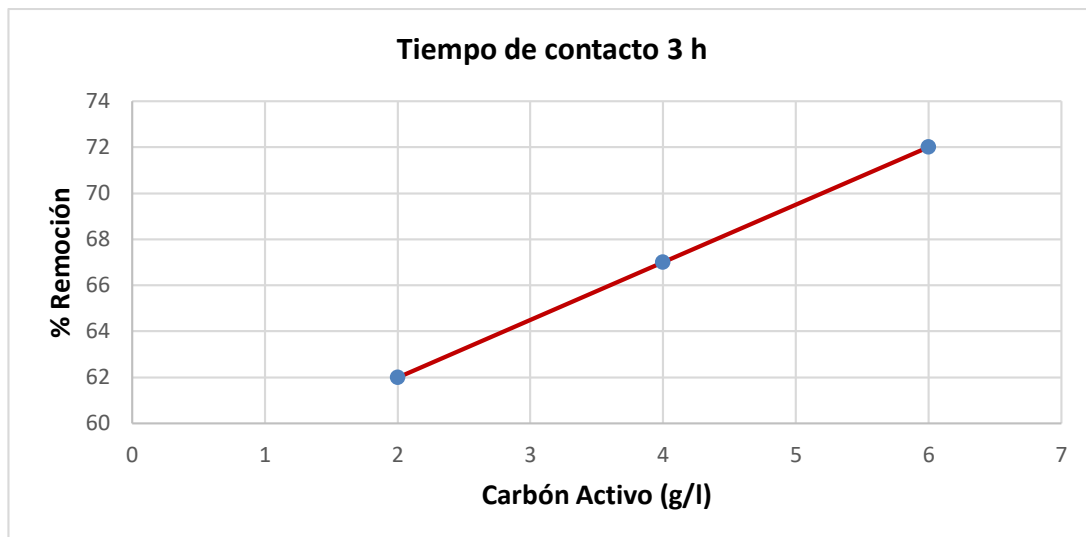


Figura 13. Remoción de arsénico con carbón activado de concentración 2, 4, 6 g/L y Tiempo de contacto 3h

En la figura **14** se observa la interacción de ambos factores, podemos observar que el factor de mayor significancia con respecto al porcentaje de remoción es la concentración del carbón activado, pues la diferencia de remoción entre los tiempos de contacto de 2 y 3 horas es mínima para una misma concentración.

Por ello que en la figura se observa que el mayor porcentaje de remoción se tiene con una concentración de 6 g/l con un tiempo de contacto de 2 y 3 horas, así como para una concentración de 2 g/l de carbón activado se requiere un tiempo de contacto de 2 horas ya que a 3 horas obtenemos los mismos resultados.

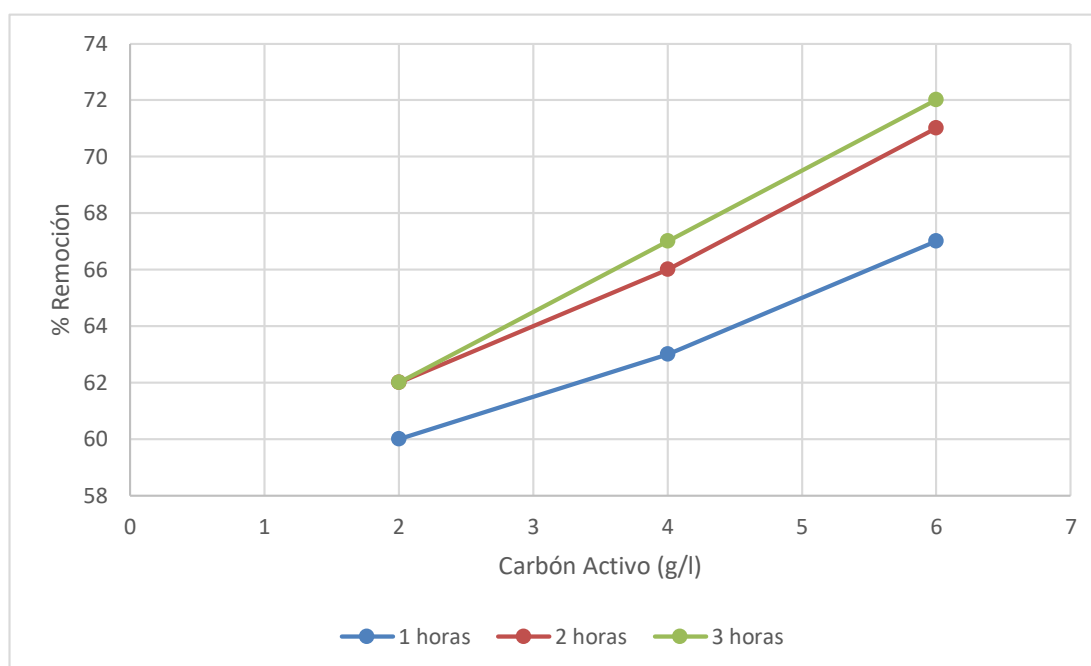


Figura 14. Remoción de arsénico vs concentración de carbón activado a distintos tiempos.

- Análisis factorial de varianza

El análisis factorial de varianza para determinar el efecto tanto individual como combinado de las variables independientes ensayadas. Los resultados se muestran en la Tabla

Tabla 12

Análisis factorial de varianza

Análisis factorial de Varianza										
Carbón Activo (g)	Tiempo de contacto (h)								YI	
	1		2		3					
2	60	3646.56		63.61	4046.00		63.61	4046.00		
	59	3610.18	120.47	61.32	3760.26	124.93	60.59	3670.92	124.20	369.60
4	63	4039.60		66.43	4412.53		66.43	4412.53		
	61	3988.58	126.71	66.12	4372.50	132.55	68.74	4725.50	135.17	394.43
6	69	4123.21		70.71	4999.24		71.31	5085.02		
	70	5006.37	134.97	71.86	5164.30	142.57	72.97	5324.68	144.28	421.82
Yj	382	24414.49		400.05	26754.84		403.65	27264.66		1185.85

Nota. Elaborado por los autores.

Tabla 13
Resultados ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	Valor P-value
A=					
Concentración	227	2	113.7	30.56	0.0001
B= Tiempo	78102	2	39051.1	10495.42	0.000
Interacción	4.84	4	1.2	0.32	0.854
Error	33.48	9	3.7		
Total	78368.1	35			

Nota. Elaborado por los autores.

IV DISCUSIÓN

- En la investigación realizada utilizando carbón activado de cáscara de coco variando factores de concentración y tiempo de contacto para remover arsénico se encontraron diferencias en el estudio de Kathia Vanessa Rojas Cerdo (2016), pues ella demostró una remoción de 27% y 31% con carbón activado de jícara sabanero (*Crescentia alata*). cabe resaltar que el porcentaje de remoción usando carbón activado también depende de el agente activante usado, puesto que si no se relaciona con el ión a remover los resultados serán deficientes; es por ello que el mayor porcentaje de remoción de arsénico se obtuvo aplicando el tratamiento secuencial primeramente con óxidos de hierro y después carbón activado artesanalmente a base de cáscara de jícara (*Crescentia alata*) con porcentajes de remoción de 50 % y 58 %.
- El porcentaje de remoción de arsénico más alto de 72% se encontró con una concentración de 6 g/l de carbón activado en un tiempo de 3 h, mientras que en las investigaciones realizadas por Bareto Pio (2014) demostró que removió el 67,50 % usando una concentración de carbón activado de 1g/l con un tiempo de contacto de 3 horas, cabe resaltar que la variación de la concentración de carbón activado influye significativamente en la remoción de arsénico, ya que los tiempos de contacto son similares; mientras que en la investigación realizada por Aguirre Achaquihui (2017) demostró que removió el 70,3% de As utilizando concentración de 4 g/l con un tiempo de 2 horas. En nuestra investigación con estos factores se removió el 68% puesto que hay que tener en cuenta que las diferencias en los porcentajes de remoción también depende de la naturaleza y la estructura del adsorbente.
- En la investigación realizada utilizando carbón activado de cáscara de coco variando factores de concentración y tiempo de contacto para remover arsénico se encontraron diferencias en el estudio de Gonzales Navarrete (2017), pues ella demostró una remoción de 21% con carbón activado de pino y una remoción del 82% del carbón impregnado con óxidos de hierro utilizando una concentración de 1g/l de carbón y un tiempo de 90 minutos, esto debido a que

el óxido de hierro es un metal que tiene gran afinidad por el arsénico y por consecuente la oxidación propicia una mejor adsorción.

- Según el cálculo estadístico el valor de F es 10495.4 y la significación es 0,000. Al ser la significación menor de 0,05 es que las concentraciones y tiempos de contacto con respecto a la remoción de arsénico son significativas, pero la interacción entre ellos no es significativa al ser $p > 0.05$.

V CONCLUSIONES

- Las características fisicoquímicas del carbón activado obtenido químicamente de la cáscara de coco reflejan que cumple con los estándares de cualquier compuesto adsorbente, Así mismo teniendo en cuenta el agente activante del carbón conduce a un óptimo porcentaje de remoción.
- La adsorción de ácido acético sobre carbón activado tiene rendimientos de alrededor del 90 % debido a que tienen una buena afinidad, así por lo cual se puede considerar un absorbedor eficiente para llevar a término la remoción de metales en aguas
- Se demostró que la remoción de hasta un 72% de la carga contaminante de la concentración de arsénico es un método eficiente producido por la adición de una concentración de 6 g/l de carbón activado de coco interactuando con un tiempo de contacto de 3 horas. Los resultados del diseño factorial con un 95% de confianza mostraron que existe una influencia significativa de los factores de concentración y tiempo de contacto con respecto a la remoción de arsénico, mientras que la interacción entre ellos no es significativa.

VI RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Evaluar otros factores (ph de la solución, temperatura) que intervienen en la adsorción de arsénico.
- Efectuar análisis físicos al agua: sólidos suspendidos, cloro libre residual, turbidez, color y pH antes y después del tratamiento.
- Utilizar otros métodos de determinación de arsénico debido a las limitaciones encontradas con el propósito de confirmar y optimizar los resultados.
- Combinar el carbón activado de esta investigación con otro tipo de materiales para mejorar la eficiencia de remoción de arsénico.

VII BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Corredor, S. A. (2014). *Preparación y caracterización de carbón activado granular obtenido a partir de cuesco de palma africana (Elaeis Guineensis) para la adsorción de CO₂*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/46106/1/74382041.2014.pdf>
- Aguirre Achaquihui, N. Y. (28 de Diciembre de 2017). *Repositorio Institucional UNA-PUNO*. (U. N. Altiplano, Ed.) Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7397/Aguirre_Achaquihui_Nathali_Yola.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alarcón Herrera, M. T. (2013). *Arsénico en agua*. Chihuahua: Cimav. Obtenido de <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/1056>
- Almestar Nanfaro, A. A. (2015). *Elaboración de carbón activado a partir de cáscaras de coco (Cocos nucifera)*. Universidad Nacional De Piura, Piura. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/352361490/Elaboracion-de-Carbon-Activado-a-Partir-de-Cascaras-de-Coco-Cocos-Nucifera>
- Amparán Ochoa, A. C. (2007). *Modificación con hierro de carbón activado para remover As en agua*. (Tesis de Posgrado), CIMAV, Chihuahua.
- Bastidas, M. B. (2009). Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia. *Información tecnológica*, Colombia. doi:org/10.4067/S0718-07642010000300010.
- Bricio Barrios, E. E. (2010). *síntesis y caracterización de carbón activado a partir de bagazo de tequila Azul Weber*. Universidad de Guanajuato. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/281155060>
- Cardenas Ijuma, H. (2015). *Evaluación del carbón activado por el método químico con cloruro de zinc y ácido fosfórico a partir del aserrín de Copaífera Reticulada (Copaiba)*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/1555>
- Carrillo Ávila, N., & Ordóñez Prado, C. (2014). *Tecnología de alta eficiencia para carbonizar madera de encino*. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Obtenido de http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4159/01020926600062967_TEC_ALTA_EFICIENCIA_CARB.pdf?sequence=1
- Carvalho Monteiro de Castro, M. (2013). *Preparación de carbones activados con KOH a partir de Residuo de Petróleo. Adsorción de Hidrógeno*. (Tesis de

- Posgrado), Universidad de Alicante, Alicante. Obtenido de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/33258/1/tesis_mateuscarvalho.pdf
- Castro Cortes, L. E. (2009). Elaboración de carbón activado a partir de cáscara de naranja. 18. XVII Concurso Universitario Feria de Las Ciencias. Obtenido de <https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria17/104.pdf>
- Ccencho Mercado, S. (2018). *Uso de biomasa seca (cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque, a nivel laboratorio - 2018*. (Tesis de Pregrado), Universidad César Vallejo, Lima. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/20198>
- Cedrón, J. L. (2011). *Química General*. Obtenido de <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/132-primera-ley-de-la-termodinamica-procesos-isotermicos-y-procesos-isobaricos.html>
- Ceniceros, J. C. (8 de Marzo de 2015). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/carloscenicerosgonzalez/temas-de-fsica-45590203>
- Cristóbal Aire, J., Guevara Roman, L. M., & Macassi Allasi, G. C. (20 de Junio de 2004). *Obtención del Carbón Activado Optimo de la Cascara de Coco*. Universidad del Centro del Peru, Hyo. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/230604926/carbon-activado-de-coco-prozaso>
- D'Acunha, B. y. (26 de Octubre de 2010). *SCRIBD*. (P. U. Perú, Editor) Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/43572556/adsorcion-con-carbon-activado>
- Figuerola Leigh, E. (2013). *Evaluación de una planta piloto de remoción de arsénico por adsorción mediante un medio agaroso*. (Tesis de Pregrado), Universidad de Chile, Santiago de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/113112>
- Figuerola, D. M. (12 de Diciembre de 2014). Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(26), 16. Obtenido de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/1172/1733>
- García López, R. A. (2017). *Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (citrus sinensis linn obsbeck), laboratorios de química UNAN-Managua, II semestre 2016*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Obtenido de <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/4275>
- Garcia Rodriguez, J., & Guerrero, M. (s.f.). *Guia Tecnica del cultivo del cocotero*. San Andrés: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Fosteral .

Obtenido de

<http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20cocotero%202003.pdf>

García Rojas, N. V. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 14(1), 109-129. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894007>

García Salgado, S. (2013). *Estudios de Especiación de Arsénico y Acumulación de Metales en Muestras de Interés Medioambiental*. (Tesis de Posgrado), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Gasque Silva, L. (2013). Arsénico, el elemento inclasificable. *Educación Química*, 24(2), 495-500. doi:org/10.1016/S0187-893X(13)72519-9

Gómez, A. R. (2010). *Carbón activado de hueso de palma: Estudio de termogravimetría y estructura*. (U. d. kassel, Ed.) Kassel, Kassel, Alemania: kassel university press GmbH. Obtenido de https://books.google.com.pe/books/about/Carb%C3%B3n_activado_de_hueso_de_palma.html?id=_3iIfeXtdRwC&redir_esc=y

Gómez, A., Klose, W., Rincón, S. L., & Wiest, W. (2004). *Transformación termoquímica de la biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma: tecnologías y perspectivas*. Palmas.

Gonzales Mora, H. E. (2004). *Estudio Preliminar de carbón activado: situación en el Perú*. Lima-La Molina. Obtenido de https://www.academia.edu/8071614/Carb%C3%B3n_Activado._Estudio_Preliminar_situaci%C3%B3n_en_el_Per%C3%BA

González Navarrete, B. D. (2017). *Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico*. (Tesis de Pregrado), Universidad de Chile, Santiago.

González, M. G. (2011). *Especiación indirecta de arsénico mediante filtros descartables*. Tesina, Universidad Nacional de la Pampa, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Santa Rosa - La Pampa. Obtenido de http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/x_gonesp480.pdf

Grisales Motato, A. L. (2016). *Obtención de Carbón Activado a partir de Activación Química de Pulpa de Café y su Aplicación en la Remoción de Colorantes en Aguas Residuales Industriales*. (Tesis de Pregrado), Universidad Tecnología de Pereira, Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6965/628162G869.pdf>

Hernández Rodríguez, M. O. (Enero - Abril de 2017). Características fisicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO₃. (redalyc.org,

Ed.) *Revista Cubana Química*, 29(1), 26 - 38. Recuperado el 25 de Mayo de 2016, de <https://www.redalyc.org/html/4435/443550986003/>

Hernández Sánchez, M. L. (2017). *Evaluación de la efectividad de la semilla de teberinto (moringa oleífera lam.) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano*. (Tesis de Pregrado), Universidad de El Salvador, El Salvador.

Herrera Mazariegos, H. R. (Noviembre de 2016). *COGUANOR*. Obtenido de http://cretec.org.gt/wp-content/files_mf/ngo34125h15contenidodearsenico.pdf

Hidalgo Segovia, C. S. (2017). *Obtención de Carbón Activado a partir del Bagazo del Café como una propuesta de utilización del residuo de una Industria Cafetera*. (Tesis de Pregrado), Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/42515>

Lazo Camposano, R. (2015). *Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional del Callao, Callao. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1043>

Leyva Ramos, R. (15 de Octubre de 2017). Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en Fase Líquida. En *Sólidos porosos: Preparación, caracterización y aplicaciones* (págs. 155-211). San Luis Potosí. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/320407302_Importancia_y_Aplicaciones_de_la_Adsorcion_en_Fase_Liquida

Leyva, R. (15 de Octubre de 2017). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/320407302_Importancia_y_Aplicaciones_de_la_Adsorcion_en_Fase_Liquida

Machaca Fernández, D. S. (Agosto de 2018). *Estudio hidrogeológico del distrito de Mórrope. Región Lambayeque, provincia de Lambayeque*. (Informe Técnico;N° A6830), Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. Obtenido de <http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/ingemmet/1743>

Manual del carbon activado. (s.f.). MÁSTER EN INGENIERÍA DEL AGUA. Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>

Martinez, L. D. (28 de Octubre de 2005). *Sitio Argentino de Producción Animal*. (U. N. Luis, Ed.) Obtenido de http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/177-Determinacion_arsenico.pdf

- Medina Guamán, M. A., Parrales Benavides, J. L., & Suárez Rodríguez, C. R. (2013). *Estudio de Factibilidad para Exportación de Fibra de Cascara de Coco hacia EE.UU.* (Tesis de Pregrado), Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19154/1/Trabajo%20de%20grado%20Medina%2C%20Parrales%20y%20Su%C3%A1rez%20%281%29.pdf>
- Mendieta Narvaez, E. E. (2008). *Estudio de la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de la semilla de nancite para la remoción de arsénico en aguas de pozos con alto contenido de arsénico.* (Tesis de Pregrado). Obtenido de <http://ribuni.uni.edu.ni/id/eprint/323>
- Mendoza Colina, E. J. (2012). *Remoción de Pb (II) de Soluciones Mediante Carbón Activado: Experimentos en Lotes.* (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Químicas, Bogotá. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/6238/1/197380.2012.pdf>
- Mercado, S. C. (2018). *uso de biomasa seca (cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque.* Tesis, Lambayeque.
- Mojica Sánchez, L. C., Ramírez Gómez, W. M., Rincón Silva, N. G., Blanco Martínez, D. A., Giraldo Gutiérrez, L., & Moreno Piraján, J. C. (2012). Síntesis de carbón activado proveniente de semillas de eucalipto por activación física y química. *Revista de química teórica y aplicada*, 69(559), 203-210. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4146407>
- Muños, I. (13 de abril de 2018). La Republica. *Piden emergencia para Mórrope por agua contaminada con arsénico.*
- Muñoz, G., & Pazmiño Ayala, J. H. (2007). *Estudio de la adsorción de oro en carbón activado a diferentes condiciones, y modelado de la cinética de adsorción en función del tamaño de partícula.* Universidad San Francisco de Quito, Quito. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/747>
- Muzzio, M. F. (26 de Octubre de 2017). *RIA Repositorio Institucional Abierto.* (U. N. Tecnológica, Ed.) Obtenido de <http://ria.utn.edu.ar/handle/123456789/2208>
- Niño Arias, I. V. (2008). *Evaluación de dos clases de carbon activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones.* (Tesis de Pregrado), UNIVERSIDAD DE LA SALLE, Bogotá. Obtenido de

<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14093/T41.08%20N622e.pdf;jsessionid=94CD19BEB6F5DC953E2A17460216DEC9?sequence=1>

- Oscoco Choque, F. A. (2014). *Estudio físico-químico de nanopartículas de TiO₂, TiO₂-Fe y TiO₂ impregnadas en carbón activado para la remoción de arsénico*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Paredes Doig, A. L. (2011). *Estudio de la Adsorción de Compuestos Aromáticos Mediante Carbón Activado Preparado a Partir de la Cascara de Castaña*. (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/827>
- Pimentel Cervantes, A. A. (2006). *Pruebas preliminares a nivel laboratorio para la remoción de arsénico en aguas subterráneas con filtros de hierro metálico y óxido de hierro*. (Tesis de Pregrado), Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotechnología, México, D. F. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/23175>
- Prías Barragán, J. J. (2011). Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor Guadua Angustifolia Kunth. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(135), 10. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v35n135/v35n135a04.pdf>
- Ramírez Gonzalez, S. J. (19 de Setiembre de 2016). Determinación de arsénico por el método del azul de Molibdeno en muestras de aguas provenientes de una planta de procesamiento de minerales auríferos. (U. d. Cuba, Ed.) *Revista Cubana de Química*, 29(1), 3 - 12. Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443550986001>
- Recobert Plaza, M. (2015). *Carbon activado: Evaluación de nuevos precursores y del proceso de activación con dióxido de carbono*. Universidad de Alicante, Alicante. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/47053>
- Ríos Hurtado, J. C. (2013). *Estudio del grado de oxidación de materiales microporosos para el anclaje de hidrógeno (Óxidos) de hierro: remoción de arsénico*. (Tesis de Posgrado), Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., San Luis Potosí. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11627/2995>
- Sevillano, Á. S. (2013). *Obtención de carbon activado a partir de madera: Estudio de prefactibilidad*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Cuyo, San Rafael. Obtenido de http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7742/obtencion-de-carbon-activado-a-partir-de-madera.pdf

- Silva Muñoz, J. D. (2017). *producción y caracterización de carbón activado a partir de residuos agroindustriales (fibra de nopal) para la remoción de arsénico en agua*. (tesis de pregrado), instituto politécnico nacional, Zac, Zacatecas.
- Teresa Alarcón Herrera., L. O. (2013). *Arsénico en Agua Presencia, cuantificación analítica y mitigación*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados - Mexico, chihuahua.
- Trelles Bautista, J. A. (2013). *Biosorción de Arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes*. (Tesis de Posgrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1152>
- Valladares Cisneros, M. G. (2016). Adsorbentes no convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55 - 73. doi:10.22395/rium.v16n31a3
- Vasco, P. y. (19 de Julio de 2014). Estudio de la Cinética de Adsorción de Índigo Carmín en Piezas Abrasivas. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 8(2), 131 - 139. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5001547>
- Velázquez Trujillo, A. B. (2010). Optimización de la producción de carbón activado a partir del bamú. (U. A. Iztapalapa, Ed.) *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(3), pp. 359-366. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62016236010>
- Vera Samaniego, K. L. (2014). *Remoción de arsénico del agua residual industrial de proceso mediante el método de bioadsorción*. (Tesis de Pregrado), TORREON, COAHUILA. doi:DOI: 10.13140/RG.2.1.3164.9040
- Vitela Rodríguez, A. V. (2011). *Remoción de arsénico por medio de carbón activado modificado con nanopartículas de hidro (óxidos) de hierro*. (Tesis de Posgrado), Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., San Luis Potosí.
- Zapana Quispe, R. N. (2016). *Estudio de remoción de arsénico del agua del rio Sama - Tacna, empleando Fe^o y ácido cítrico, 2014*. (Tesis de Pregrado), Tacna. Obtenido de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2501>

VIII ANEXOS

ANEXO 1

CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

- Cálculo del rendimiento de carbón activado:

$$\%R = \frac{\text{masa de carbón obtenido}}{\text{masa inicial de materia prima}} \times 100\% = \frac{487g}{1109g} \times 100\% = 43.91 \%$$

- Cálculo del porcentaje de humedad:

$$\%H = \frac{m. \text{seca} - m. \text{crisol } v}{m. \text{muestra}} \times 100 = \frac{22.05 - 21.98}{1} \times 100\% = 7$$

ENSAYO	CRISOL VACIO	MUESTRA	CRISOL MASA SECA	%HUMEDAD
1	21.982	1.003	22.053	7.08%
2	53.963	1.003	54.034	7.08%
3	54.266	1.002	54.337	7.09%
MEDIA				7.08%

Nota. Elaborado por los autores.

- Cálculo del contenido de volátiles:

$$\%M. V = \frac{m \text{ inicial} - m \text{ residuo}}{muestra} \times 100 = \frac{32.44 - 32.16}{2.001} \times 100 = 13.9\%$$

ENSAYO	CRISOL CON MUESTRA	MUESTRA(g)	CRISOL CON RESIDUO	%MATERIA VOLATIL
1	32.443	2.001	32.164	13.94
2	81.337	2.002	81.065	13.59
3	82.131	2	81.858	13.65
MEDIA				13.73

Nota. Elaborado por los autores.

- **Cálculo de cenizas:**

$$\% \text{Cenizas} = \frac{m_{\text{cenizas}} - m_{\text{crisol vacío}}}{m_{\text{muestra}}} \times 100\% = \frac{54.29 - 54.21}{2} \times 100\% = 4\%$$

ENSAYO	CRISOL VACIO	MUESTRA(g)	CRISOL CON CENIZAS	%CENIZAS
1	54.21	2	54.29	4
2	57.14	2	57.23	4.5
3	85.06	2	85.15	4.5
MEDIA				4.33

Nota. Elaborado por los autores.

- **Cálculo del carbón fijo:**

$$\%CF = 100\% - (\%H + \%MV + \%CC) = 100\% - (7.65 + 13.94 + 4) = 74.41$$

MEDIA	%HUMEDAD	%C. VOLATIL	%CENIZAS	C.F
	7.41	13.73	4.33	74.53

Nota. Elaborado por los autores.

- **Cálculo de la densidad aparente del carbón activado:**

Carbón	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad aparente (g/mL)
1	3.90981	10	0.3909

Nota. Elaborado por los autores.

ANEXO 2

CAPACIDAD DE ADSORCIÓN POR INDICE DE ACIDO ACETICO

<i>Masa Molar</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>
<i>NaOH</i>	<i>g/mol</i>	<i>40.00</i>
<i>Ácido Oxálico</i>	<i>g/mol</i>	<i>90.03</i>
<i>Ácido Acético</i>	<i>g/mol</i>	<i>60.05</i>
<i>Volumen de la solución</i>	<i>L</i>	<i>0.10</i>

Nota. Elaborado por los autores.

- **Preparación de solución de NaOH 0.25 M**

Cantidad de NaOH a pesar al 97%

$$0.25 \frac{\text{mol NaOH}}{\text{L solución}} \times \frac{40 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \times \frac{100 \text{ g}}{97 \text{ g}} \times 0.25 \text{ L} = 2.58 \text{ g NaOH}$$

Esta cantidad de NaOH se dispondrá en un balón aforado de 250 ml

- **Valoración de solución de NaOH**

El NaOH se estandarizará usando 3 volúmenes de 10 ml.

$$W_a = \frac{V_B \times V_B \times PM_A}{\theta_A} = \frac{0.03 \text{ L} \times 0.25 \text{ N} \times 126.07 \text{ g/mol}}{2} = 0.47 \text{ g de ácido oxálico}$$

$$C_a \frac{0.4728 \text{ g}}{126.07 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0.03 \text{ L}} = 0.125 \text{ M}$$

Cantidad de ácido oxálico a pesar:

$$0.125 \frac{\text{mol ac. oxalico}}{\text{L solución}} \times \frac{126.07 \text{ g ac. oxalico}}{1 \text{ mol ac. oxalico}} \times \frac{99.5 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 0.25 \text{ L} = 3.92 \text{ g}$$

Esta cantidad de ácido oxálico se dispondrá en un balón aforado de 250 ml

- Estandarización de solución de NaOH

$$C_{\text{NaOH}} = \frac{C_{\text{ac.oxalico}} \times V_{\text{ac.oxalico}}}{V_{\text{NaOH}}} \times \theta_{\text{ac.oxalico}}$$

$$C_{\text{NaOH}} = \frac{0.125 \times 10}{11.3} \times 2 = 0.221$$

Matraz Nº	V ácido oxálico (ml)	Volumen gastado NaOH (ml)	C (NaOH)	C ácido oxálico
1	10	11.3	0.221	0.125
2	10	11.1	0.225	0.125
3	10	11.4	0.219	0.125
Media	10	11.3	0.222	0.125

Nota. Elaborado por los autores.

• Preparación de la solución madre del ácido acético:

El ácido acético tiene 99.7%

$$c = 1.05 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ mol}}{60.05 \text{ g}} \times \frac{99.7}{100 \text{ g}} = 17.43 \text{ M}$$

Se requiere que la solución madre sea de 0.15M en un balón aforado de 250 ml, entonces el volumen de la alícuota de la solución de ácido acético al 99.7% será:

$$V_{AA} = \frac{0.15M \times 1000ml}{17.43M} = 8.61ml$$

- **Estandarización del ácido acético:**

$$c_{CH_3COOH} = \frac{V_{NaOH} \times c_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} c_{AA\ equi.} = \frac{6.5 \times 0.222}{10} = 0.14$$

Matraz Nº	V CH ₃ COOH (ml)	Volumen gastado NaOH (ml)	C AA equilibrio	C (NaOH)
1	10	6.5	0.144	0.222
2	10	6.7	0.149	0.222
3	10	6.7	0.149	0.222
Media	10	6.6	0.147	0.222

Nota. Elaborado por los autores.

• **Concentraciones de las diluciones de ácido acético:**

$$C_{inicial} \times V_{inicial} = C_{final} \times V_{final}$$

$$c_{final} = \frac{C_{inicial} \times V_{inicial}}{V_{final}}$$

$$c_{final} = \frac{0.1472 \times 80}{100} = 0.1178$$

Concentraciones de las diluciones del Ácido acético

Matraz Nº	Carbón (g)	VCH ₃ COOH (ml)	V Agua (ml)	V Sol. Inicial (ml)	C(CH ₃ COH) inicial	Moles iniciales
1	2.030	100	0	100	0.1472	1.47E-02
2	2.000	80	10	100	0.1178	1.18E-02
3	2.020	60	40	100	0.0883	8.83E-03
4	2.010	40	60	100	0.0589	5.89E-03
5	2.030	20	80	100	0.0294	2.94E-03
6	2.010	10	90	100	0.0147	1.47E-03

Nota. Elaborado por los autores.

Volumen de hidróxido de sodio gastado hasta el equilibrio

Matraz Nº	V Sol. filtrado (ml)	V _{e1} NaOH (ml)	V _{e2} NaOH (ml)	V _e pro-NaOH (ml)
1	10	7.3	7.2	7.25
2	10	5.6	5.4	5.5
3	10	3.9	3.8	3.85
4	10	2.5	2.5	2.5
5	10	1.1	1	1.05
6	10	0.5	0.5	0.5

Nota. Elaborado por los autores.

ANEXO 3 CONSTRUCCIÓN DE ISOTERMA DE LANGMUIR Y FREUNDLICH

Los resultados obtenidos en el laboratorio para la construcción de isotermas de adsorción utilizando el índice de ácido acético se muestra en el anexo 2

Para determinar la ecuación de adsorción de Langmuir y Freundlich en el carbones obtenidos, se linealizaron los gráficos de la isoterma de adsorción de Langmuir (graficando el inverso de la concentración en el equilibrio vs masa del adsorbente por los moles adsorbidos de CH₃COOH (Corona, Sigüenza, Ubici, Gómez y Ortega, 2015) y Freundlich (aplicando logaritmo natural a la concentración en el equilibrio y los gramos adsorbidos de CH₃COOH por los gramos de adsorbente (Huerta, 2014).

En este anexo se presentan las isothermas de adsorción de Langmuir y Freundlich y también las isothermas de Langmuir y Freundlich linealizadas del carbón activado.

En las isothermas de Langmuir y Freundlich linealizadas del carbón activado muestran las regresiones tanto para la isothermas de Langmuir como para la de Freundlich, respectivamente; para las dos regresiones se obtuvo una aproximación asertiva que permite ser representada por los modelos matemáticos propuestos. Se resalta una mayor coherencia hacia la isoterma de Langmuir por su mayor aproximación de datos a la recta, puesto que esta se sugiere como la aproximación más utilizada.

$$C_{(equilibrio)} = \frac{V_{NaOH} * C_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}}$$

$$X = \frac{(C_0 * C_{equilibrio}) * V_l}{m}$$

$$\frac{m}{n} = \frac{\text{masa del adsorbente}}{\text{moles adsorbidos}}$$

$$q_e = \frac{q_{max} * b * C_e}{1 + bC_e}$$

Donde:

q_e : es la capacidad de adsorción del soluto (mg adsorbato/ g de adsorbente).

c_e : es la concentración en el equilibrio (mg/L).

Q_{max} : es la máxima capacidad de adsorción (mg adsorbato / g de adsorbente).

B : es la constante de adsorción de Langmuir (L/mg).

- **Calculo para determinar la ecuacion de langmuir**

M: masa de carbon (g).

Q_e : cantidad de moles adsorbidos.

C_e : concentracion en equilibrio.

Q_{max} : maxima capacidad de moles adsorbidos.

B: constante de energia relacionada con el calor adsorcion.

Ecuacion linealizada de langmuir:

$$\frac{m}{q_e} = \frac{m}{q_{max}} + \left(\frac{m}{q_{max}} \right) * \frac{1}{C_e}$$

Ec. 1

Ecuacion linealizada de Lagmuir

$$\frac{m}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \left(\frac{1}{q_{max} \cdot b} \right) = * \frac{1}{C_e}$$

Ec. 2

$$Y = a + bx$$

$$\textbf{Pendiente} = \left(\frac{1}{q_{max} \cdot b} \right)$$

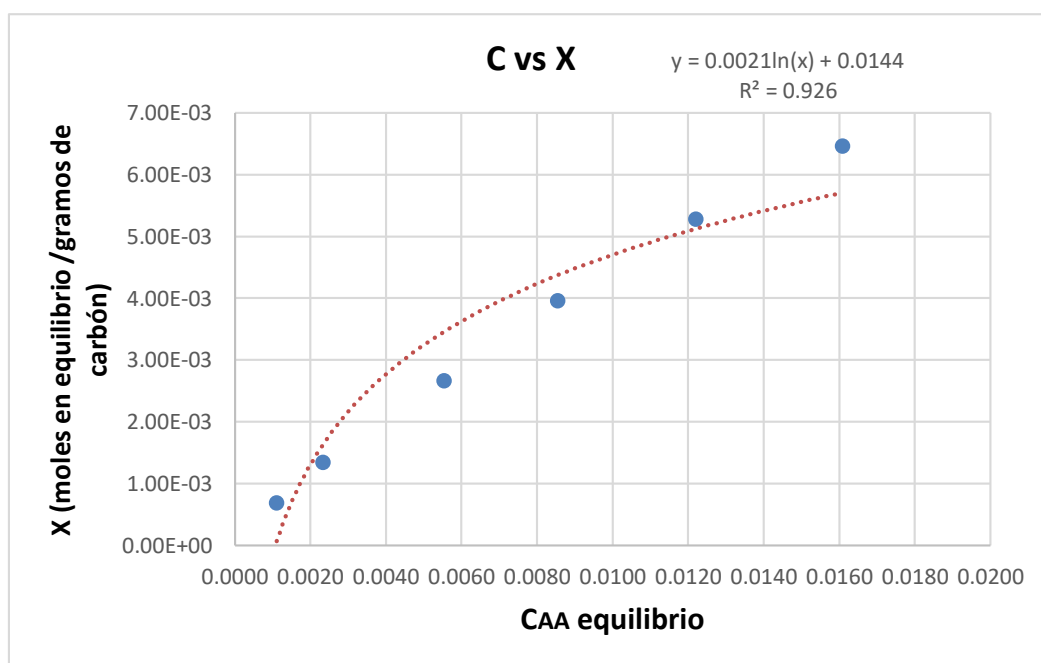
$$\textbf{Ordenada en el origen} = \frac{1}{q_{max}}$$

Usando la ecuacion de la recta del grafico linealizado se obtienen los valores de **q_{max}** y **b** de la ecuacion de Langmuir.

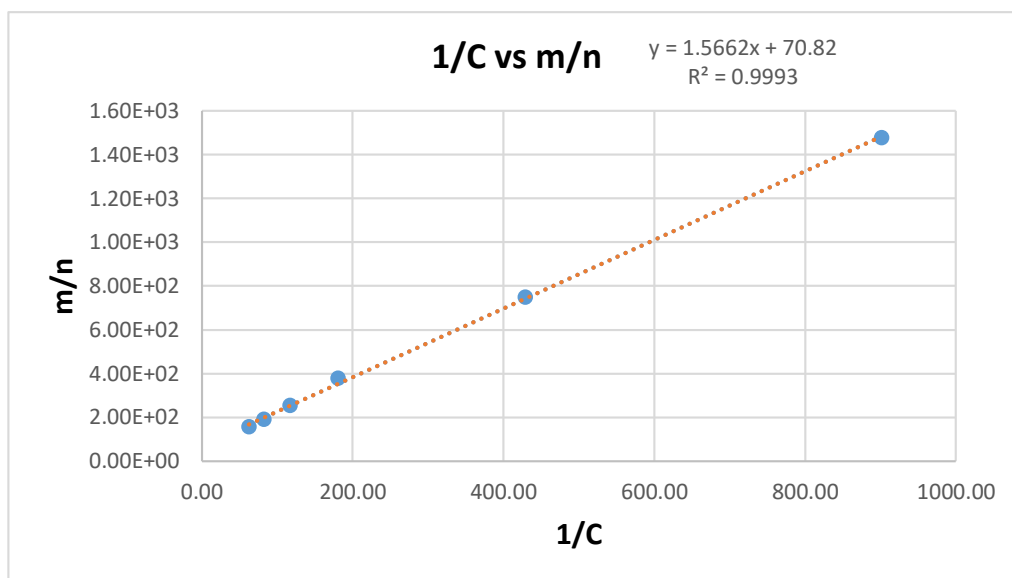
Datos para construcción de la isoterma de Langmuir

Matraz Nº	Carbón (g)	Ve NaOH (mL)	nAA inicial	nAA equilibrio	nads AA	CAA equilibrio	X (moles adsorbidos /gramos de carbón)	m/n	1/c
1	2.03	7.25	0.0147	0.0016	0.0131	0.0161	6.46E-03	1.55E+02	62.15
2	2.00	5.5	0.0118	0.0012	0.0106	0.0122	5.28E-03	1.89E+02	81.93
3	2.02	3.85	0.0088	0.0009	0.0080	0.0085	3.95E-03	2.53E+02	117.04
4	2.01	2.5	0.0059	0.0006	0.0053	0.0055	2.65E-03	3.77E+02	180.24
5	2.03	1.05	0.0029	0.0002	0.0027	0.0023	1.34E-03	7.49E+02	429.15
6	2.01	0.5	0.0015	0.0001	0.0014	0.0011	6.77E-04	1.48E+03	901.22

Nota. Elaborado por los autores.



Nota. Isotherma de Langmuir C vs X



Nota. Isoterma de langmuir 1/C vs m/n

Datos para construcción de la isoterma de Freundlich

Matraz Nº	Carbón (g)	Ve NaOH (ml)	nAA inicial	nAA equilibrio	nads AA	CAA equilibrio	Y (gr. adsorbidos /gr. de carbón)	Ln Ce	Ln Y
1	2.03	7.25	1.47E-02	1.61E-03	1.31E-02	0.016	0.38	-4.13	-0.95
2	2.00	5.5	1.18E-02	1.22E-03	1.06E-02	0.012	0.31	-4.41	-1.15
3	2.02	3.85	8.83E-03	8.54E-04	7.98E-03	0.008	0.23	-4.76	-1.44
4	2.01	2.5	5.89E-03	5.55E-04	5.33E-03	0.005	0.15	-5.19	-1.84
5	2.03	1.05	2.94E-03	2.33E-04	2.71E-03	0.002	0.08	-6.06	-2.52
6	2.01	0.5	1.47E-03	1.11E-04	1.36E-03	0.001	0.04	-6.80	-3.20

Nota. Elaborado por los autores.

- Cálculo para determinar la ecuación de Freundlich

$$q_e = K C_e^{1/n}$$

$$Y = \frac{(C_0 - C_{final}) \cdot V(L) \cdot PM}{m}$$

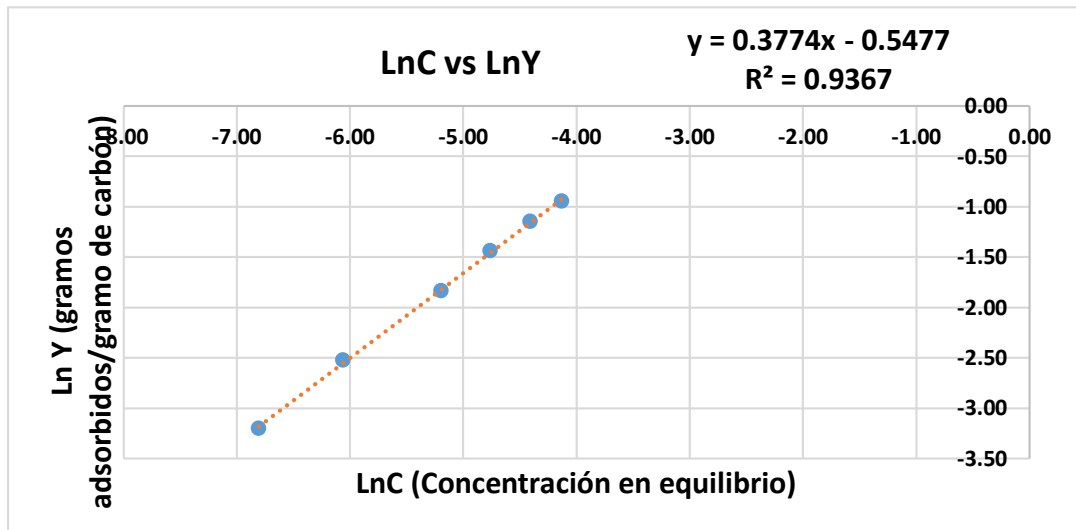
$$\ln q_e = \ln K + \frac{1}{n} \ln C_e$$

$$y = b + mx$$

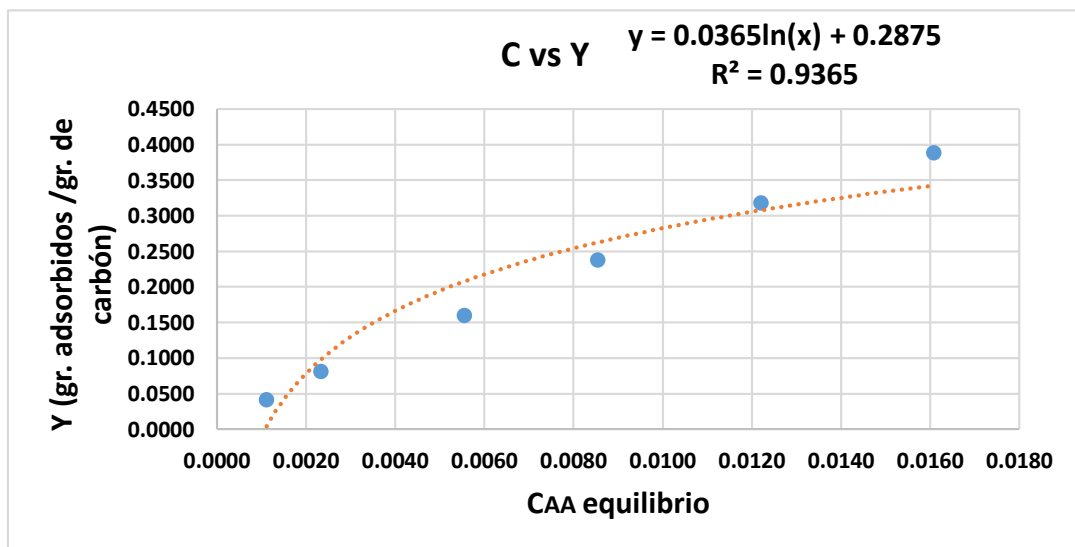
$$b = \ln K$$

$$\text{Pendiente} = 1/n$$

Ordenada en el origen = $\ln K$



Nota. Isotermas de Freundlich LnC vs LnY



Nota. Isotermas de Freundlich C vs Y

Indice de adsorción ácido acético sobre carbón activado

C (CH₃COOH) inicial	C_{AA} equilibrio	% Remoción
0.147	0.016	89%
0.118	0.012	90%
0.088	0.009	90%
0.059	0.006	91%
0.029	0.002	92%
0.015	0.001	92%

Nota. Elaborado por los autores.

- **Calculo para determinar el area superficial**

Para hallar el área superficial específica se tiene la siguiente ecuación:

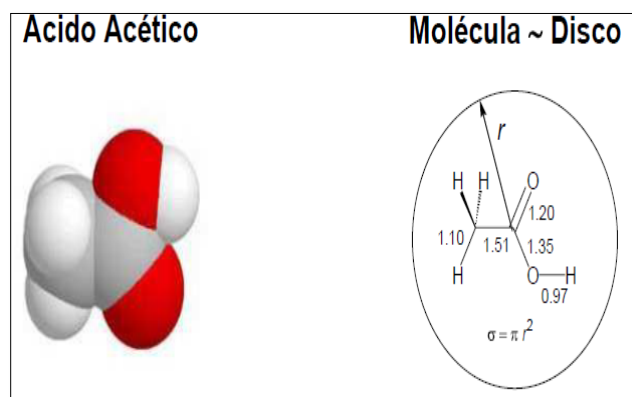
$$\frac{n_{max}}{W} N_A$$

Dónde:

N_A : Numero de Avogadro

σ se puede calcular asumiendo que la molécula de ácido acético se asemeja a una esfera así:

Y se puede calcular aproximadamente un valor de radio con la información de la distancia de los enlaces. Se toma un valor de 2,18 Å.



Área superficial. Recuperado de "Química de superficies: Adsorción de ácido acético sobre carbón activo." p. 10, por Olivares, S.2017. Universidad de Oviedo.

$$\sigma = \pi * r^2 = \pi * (2.18\text{\AA})^2 = 1.49 \times 10^{-19} \text{m}^2$$

Con la gráfica de Langmuir para el carbón encontrado en el laboratorio se determina el intercepto, este representa m/n (Gramos del adsorbente/moles adsorbidos). Como se toma para 1 gramo de carbón, m es 1 g. Así:

$$S = \frac{n_{max}}{W} N_A \sigma$$

m/n = 70.82 g de carbón/moles adsorbidos

$$\sigma = 1.49 \times 10^{-19} \text{ m}^2$$

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$S = 1267.19 \text{ m}^2/\text{g de carbón.}$$

ANEXO 4

CALCULO DE SOLUCIONES PARA LA DETERMINACION DE ARSENICO EN AGUA.

- Solución de HCL 1N:

HCl 37%

PM: 36.5 g/mol

$\rho = 1.14 \text{ g/ml}$

$$1.14 \frac{\text{g}}{\text{ml}} * \frac{1 \text{mol}}{36.5 \text{ g}} * \frac{37}{100} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = 11.56 \text{ mol/L}$$

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$11.56 \text{ mol/L} * V_1 = 1 \text{N} * 1000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 86.51 \text{ ml}$$

De acuerdo al método que describe la norma “Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist, AOAC”. 12ª edición, 1975. (Herrera Mazariegos, 2016) Se prepararon las soluciones a utilizar:

- Solución de Bromato de Potasio:

Se usa como agente oxidante lento y la concentración de uso de 75 ppm

- Solución de Molibdato de amonio:

Se disolvió 7 g de molibdato de amonio en una mezcla caliente de 70 ml de ac. Sulfúrico y 300 ml de agua, se enfrió a temperatura ambiente y se diluyó a 500 ml de agua.

- Solución de sulfato de hidracina:

Se disolvió 0.3g de sulfato de hidracina en agua y se diluyó a 200 ml.

- **Preparación de solución madre y soluciones intermedias de Arsénico:**

A partir de esta solución de concentración conocida de 1000 ppm preparó alícuotas hasta 0.1 ppm, a partir de ella realizaron diluciones para determinar la curva de calibración a partir de la cual se calculó las diferentes concentraciones.

- Solución madre:

- **Calculo para preparar solución de 1000 mg/L**

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ mg/l} * 10\text{ml} = C_2 * 1000 \text{ ml}$$

$$C_2 = 10 \text{ mg/l}$$

$$C_2 * V_2 = C_3 * V_3$$

$$10 \text{ mg/l} * 10 \text{ ml} = C_3 * 1000 \text{ ml}$$

$$C_3 = 0.1 \text{ mg/l}$$

Se determinó la concentración de arsénico por azul de molibdeno de acuerdo con la revista Cubana de Química Vol. 29 no 1 publicada en el 2017. (Ramírez Gonzalez, 2016).

ANEXO 5

DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE ARSENICO POR METODO DE AZUL DE MOLIBDENO

Para ello se tomó 50 ml de agua la cual pasa por el método de azul de molibdato, luego de ello se enraza la muestra a 100 ml con agua destilada convirtiendo la muestra a una concentración a la mitad.

Soluciones intermedias para determinar la curva de calibración

Volumen de solución intermedia (ml)	Volumen de agua destilada (ml)	Volumen total de la solución (ml)	Concentración (ppm)
0.0	10.0	10.0	0.00
1.0	9.0	10.0	0.005
2.0	8.0	10.0	0.01
3.0	7.0	10.0	0.015
4.0	6.0	10.0	0.02
5.0	5.0	10.0	0.025
6.0	4.0	10.0	0.03
7.0	3.0	10.0	0.035
8.0	2.0	10.0	0.04
9.0	1.0	10.0	0.045
10.0	0	10.0	0.05

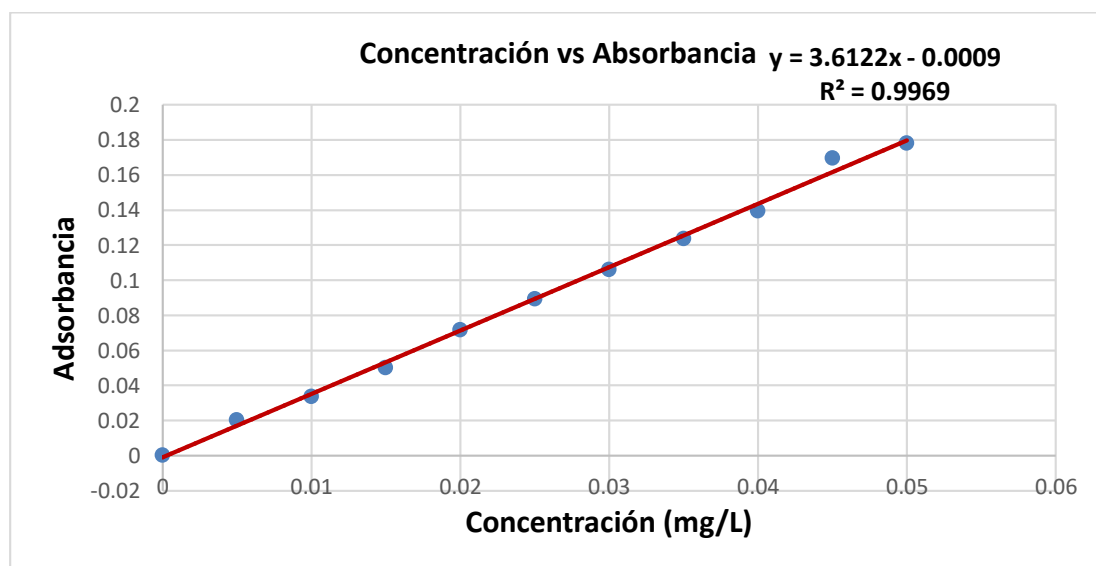
Nota. Elaborado por los autores.

- Preparación de las curvas de calibración:

Absorbancia a una longitud de onda de 660 nm

Volumen de la solución intermedia	Concentración (ppm)	absorbancia
0.0	0.00	0.0
1.0	0.005	0.020
2.0	0.01	0.033
3.0	0.015	0.050
4.0	0.02	0.171
5.0	0.025	0.089
6.0	0.03	0.106
7.0	0.035	0.123
8.0	0.04	0.139
9.0	0.045	0.169
10.0	0.05	0.178

Nota. Elaborado por los autores.



Nota. Línea de Concentración vs Absorbancia hallado a una longitud de onda de 660 nm

La grafica representa la ecuación linealizada donde conociendo la absorbancia de una solución se puede determinar las concentraciones de ellas. Además, tiene un valor de $R=0.9969$ lo que hace más exacto los resultados.

A partir de la ecuación $y = 3.6122x + 0.0009$ se determina las concentraciones de arsénico antes y después del tratamiento siendo “y” la absorbancia leída en el espectrofotómetro.

Concentración de la muestra de agua de Cruz del Médano

# Muestras	Adsorbancia	Concentración mg/L
1	0.212	0.117878301
2	0.206	0.114556226
3	0.197	0.109573113
4	0.2	0.111234151
		0.113310448

Nota. Elaborado por los autores.

ANEXO 6 CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

Datos para determinar la varianza

# Muestras	Carbón Activo (g/L)	Tiempo de contacto (h)	Concentración mg/L	% Remoción
1	2	1	0.0436	60
2	2	1	0.0439	60
3	2	2	0.0400	63
4	2	2	0.0436	61
5	2	3	0.0400	63
6	2	3	0.0434	60
7	4	1	0.0401	63
8	4	1	0.0405	63
9	4	2	0.0369	66
10	4	2	0.0373	66
11	4	3	0.0369	66
12	4	3	0.0344	68
13	6	1	0.0394	64
14	6	1	0.0322	70
15	6	2	0.0322	70
16	6	2	0.0310	71
17	6	3	0.0316	71
18	6	3	0.0297	72

Nota. Elaborado por los autores.

- Cálculo de la varianza del porcentaje de remoción de arsénico

$$\text{Media } (\bar{X}) = \frac{60+59+63+62+62+64+63+61+63+65+65+63+69+70+72+71+73+72}{18} = 65.38$$

X_i	$(\bar{x} - x_i)$	$(\bar{x} - x_i)^2$
60	5.4	29.16
60	5.4	29.16
63	2.4	5.76
61	4.4	19.36
63	2.4	5.76
60	5.4	29.16
63	2.4	5.76
63	2.4	5.76
66	-0.62	0.38
66	-0.62	0.38
66	-0.62	0.38
68	-2.62	6.86
64	1.38	1.9
70	-4.62	21.34
70	-4.62	21.34
71	-5.62	31.58
71	-5.62	31.58
72	-6.62	43.82

Nota. Elaborado por autores.

$$\sum (\bar{x} - x_i)^2 = 289.44$$

Reemplazamos en la siguiente fórmula

$$s^2 = \frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}$$

$$s^2 = \frac{289.44}{18} = 16.08$$

- Determinación de desviación estándar

$$S = \sqrt{16.08} = 4$$

- Valor máximo: 72%
- Valor mínimo: 60%

ANEXO 7

PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

- Selección, limpieza y secado de la materia prima



- Pre - incineración de la cáscara de coco



- Trituración o molienda



- Activación química



- Carbonización y secado



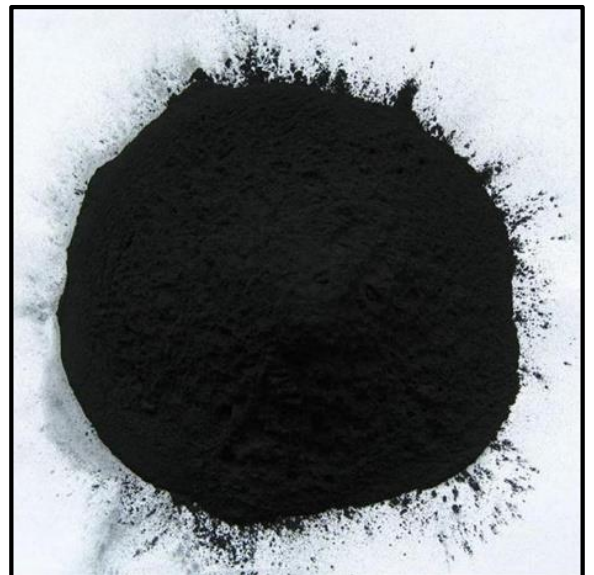
- Lavado y filtrado



- Secado



- Trituración



ANEXO 8
CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO



Humedad



Material Volátil



Cenizas



Carbón Fijo

ANEXO 9

DETERMINACIÓN DEL INDICE DEL ACIDO ACÉTICO CON EL CARBÓN ACTIVADO

- Preparación de soluciones y diluciones de ácido acético.



- Pesado del carbón activado.



- Tiempo de contacto del carbón activado y las diluciones de ácido acético.



- Filtrado y Valoración de las muestras filtradas de ácido acético con $\text{NaOH}_{(aq)}$ e indicador químico (fenolftaleína).



ANEXO 10

DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO POR EL MÉTODO DE AZUL DE MOLIBDENO

- Preparación de las soluciones



- Solución patrón y muestra contenida de arsénico



- Pesado y preparación de las muestras de carbón activado a diferentes masas y tiempos



- Filtración y refrigeración de las muestras



- Tratamiento de las muestras por el método de azul de molibdeno



- Preparación de las disoluciones patrones de arsénico y toma de absorbancia

