

REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS PARA CONSUMO HUMANO EMPLEANDO ADSORBENTES A PARTIR DE CENIZAS DE EUCALIPTO Y CARBÓN MINERAL

León Pérez Chauca, Juan Quispe Cisneros

Unidad de Investigación e Innovación de Ingeniería Química y Metalurgia
Programa de Investigación en Procesos Industriales - Operaciones y Procesos Químicos
E-mail: leon.perez@unsch.edu.pe

RESUMEN

En el presente estudio se han utilizado cenizas de la combustión de carbón mineral y de eucalipto, las que se modificaron hidrotermicamente con solución de hidróxido de sodio 2 M, con la finalidad de incrementar su propiedad adsorbente. El área superficial por el método BET para las cenizas de carbón mineral modificado fue de 21.83 m²/g y de 15.60 m²/g para la ceniza de la combustión de eucalipto modificado. El agua de consumo humano utilizado en el presente estudio proviene del Centro Poblado de Santiago de Pischa-Huamanga; por ICP-POES se determinó la concentración inicial de arsénico en el agua el cual fue de 0.02440 ppm. Los ensayos de remoción se realizaron en sistemas batch; se removió 71.31 % de arsénico usando cenizas de la combustión de carbón mineral modificado (con concentración final arsénico de 0.0070 ppm) y de 63.11 % usando cenizas de la combustión de eucalipto modificado (con concentración final de arsénico de 0.0090 ppm). En ambos casos, se llegó a remover arsénico por debajo del valor establecido de 0.010 ppm de arsénico, según la legislación peruana dada en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA, Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano y el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Agua.

Palabras clave: Arsénico, remoción, ceniza, eucalipto, carbón.

REMOVAL OF ARSENICO IN WATER FOR HUMAN CONSUMPTION USING ADSORBENTS FROM EUCALYPTUS AND MINERAL CARBON ASHES

ABSTRACT

In the present study, ashes from the combustion of mineral coal and eucalyptus have been used, which were hydrothermally modified with 2 M sodium hydroxide solution, in order to increase their adsorbent property. The surface area by the BET method for the modified mineral coal ashes was 21.83 m² / g and 15.60 m² / g for the combustion ash of modified eucalyptus. The water used for human consumption in the present study comes from the Centro Poblado de Santiago de Pischa-Huamanga; the initial concentration of arsenic in the water was determined by ICP-POES which was 0.02440 ppm. Removal tests were performed on batch systems; 71.31% of arsenic was removed using combustion ashes of modified mineral coal (with final arsenic concentration of 0.0070 ppm) and 63.11% using combustion ashes of modified eucalyptus (with final arsenic concentration of 0.0090 ppm). In both cases, arsenic was removed below the established value of 0.010 ppm of arsenic, according to Peruvian legislation given in Supreme Decree No. 031-2010-SA, Water Quality Regulation for Human Consumption and Supreme Decree No. ° 004-2017-MINAM, Environmental Quality Standards (ECA) for Water.

Keywords: Arsenic, removal, ash, eucalyptus, coal.

INTRODUCCIÓN

El arsénico, tanto en su forma orgánica como inorgánica, es un elemento tóxico a la salud humana que persiste en el ambiente como resultado de contaminación natural y antrópica. En muchos lugares del mundo se han detectado valores muy por encima de 0.010 ppm de arsénico en agua para consumo humano.

La reducción de los niveles de arsénico en aguas de consumo humano representa uno de los retos ambientales prioritarios a nivel mundial.

En la región de Ayacucho, se utiliza comúnmente como fuentes energéticas carbón mineral en las ladrilleras, y leña de eucalipto para uso doméstico en cocina y en panaderías artesanales. Las cenizas sólidas de estas actividades pertenecen a un género de contaminantes sólidos. Las

cenizas en fase sólida es uno de los subproductos de la combustión de estas fuentes energéticas, los cuales no tienen aplicación alguna,

En el presente trabajo tiene como objetivo utilizar como materia las cenizas de la combustión del carbón mineral y de eucalipto, previa modificación hidrotermicamente con hidróxido de sodio 2 M, para evaluar la remoción de arsénico en agua para consumo humano en la región de Ayacucho.

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología

El presente trabajo se caracteriza por ser experimental, aplicativo con intervención y comparativo, se realizó en el periodo 2018 en los ambientes del Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería Química y

Metalurgia. Las muestras de cenizas son obtenidas como subproducto del proceso de combustión del carbón mineral en las ladrilleras en la localidad de Compañía y de la combustión de eucalipto como leña de uso doméstico, las que previamente se acondicionaran, por separación granulométrica usando mallas de diferentes dimensiones de diámetro, lavadas y secadas, para luego ser sometidas a un tratamiento hidrotérmico alcalino con soluciones de hidróxido de sodio 2 M, donde se trataron para cada ensayo con 30 g de cenizas previamente tratadas, en cada uno de ellos se adicionan 60 mL de hidróxido de sodio 2 M (relación 01:2). Los adsorbentes preparados (cenizas modificadas con solución de hidróxido de sodio 2 M) se caracterizarán tanto en su textura y composición química antes y después de su tratamiento, por la técnica de difracción de rayos X, así mismo se determinaron su área BET. Finalmente se evaluó la capacidad de adsorción en la remoción de arsénico en agua para consumo humano. Se evaluaron dos factores, masa de adsorbente y tiempo de remoción en un diseño factorial del tipo 3² y como variable respuesta se obtuvo el porcentaje de remoción de arsénico. El sistema de remoción consta de una plancha eléctrica con sistema de agitación con pastillas magnéticas y vasos de precipitado de vidrio pirex de 200 mL de capacidad. En la tabla 1 y 2 se indican los factores y

combinaciones experimentales desarrollados según el diseño factorial, el primero para las cenizas modificadas de la combustión del carbón mineral y el segundo para las cenizas modificadas de la combustión de eucalipto.

RESULTADOS

1. Análisis estructural-DRX.

Este análisis se llevó a cabo en un difractor marca Rigaku, tipo Miniflex, mediante radiación de cobre ($\text{CuK}\alpha$) a 40 Kv y 30 mA y un barrido de 2°/minuto, todas las muestras han sido irradiadas con tubo de cobre y la longitud de onda fue de 1.5406 nm, las longitudes de onda varían de acuerdo al tipo de tubo que se utilice en la irradiación.

En las figuras 1 y 2 se muestran los difractogramas de la ceniza de la combustión mineral en la condición inicial y la modificada con hidróxido de sodio 2 M.

En los dos difractogramas se visualiza picos típicos muy pronunciados con características de fase de 2 θ igual a 27°.

Tabla 1. Factores a evaluar en la remoción de arsénico usando ceniza modificada de la combustión de carbón mineral.

Muestras	Masa de CCM-2 M (g)	Tiempo de remoción (min)
CCM-1	0.75	45
CCM-2	0.50	45
CCM-3	0.25	45
CCM-4	0.50	60
CCM-5	0.25	60
CCM-6	0.50	30
CCM-7	0.25	30
CCM-8	0.75	60
CCM-9	0.75	30

Tabla 2. Factores a evaluar en la remoción de arsénico usando ceniza modificada de la combustión de eucalipto.

Muestras	Masa de CCV-2 M (g)	Tiempo de remoción (min)
CCV-1	0.50	45
CCV-2	0.25	45
CCV-3	0.75	30
CCV-4	0.75	60
CCV-5	0.25	30
CCV-6	0.50	30
CCV-7	0.50	60
CCV-8	0.75	45
CCV-9	0.25	60

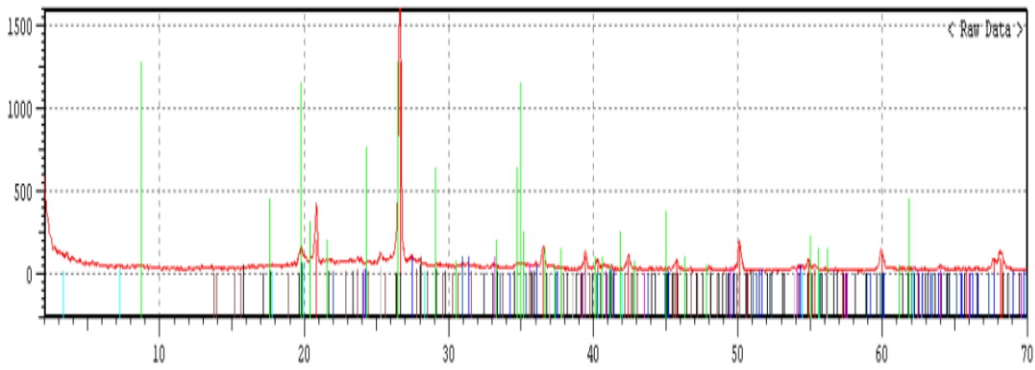


Figura 1. Difractograma de la ceniza de la combustión de carbón mineral en la condición inicial (CCM).

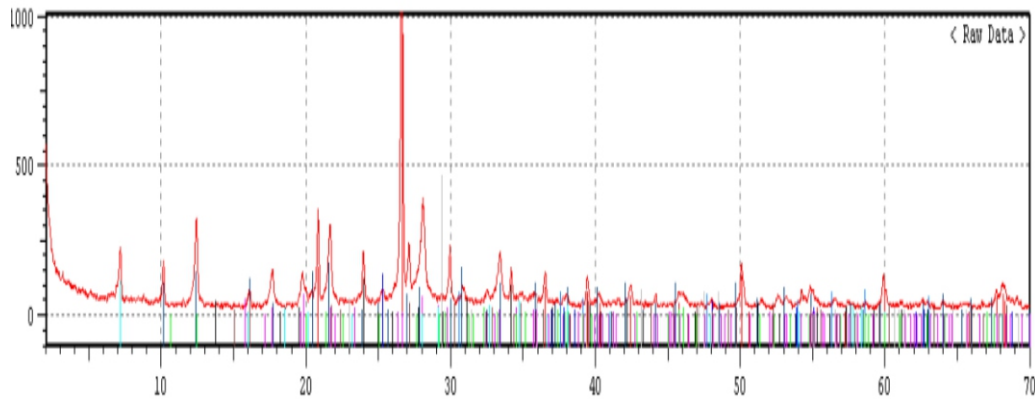


Figura 2. Difractograma de la ceniza de la combustión de carbón mineral modificada (CCM-2 M) con NaOH 2 M.

En las figuras 3 y 4 se muestran los difractogramas de la ceniza de la combustión del eucalipto en la condición inicial

y modificada con solución de hidróxido de sodio 2 M.

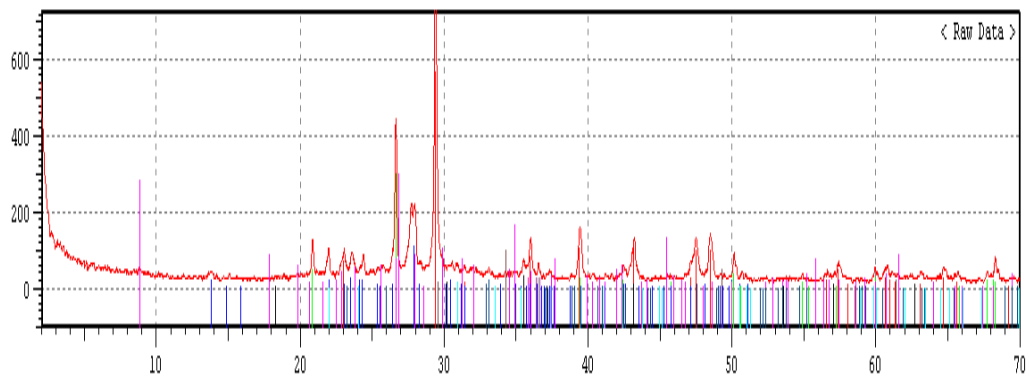


Figura 3. Difractograma de la ceniza de la combustión de eucalipto en la condición inicial (CCV).

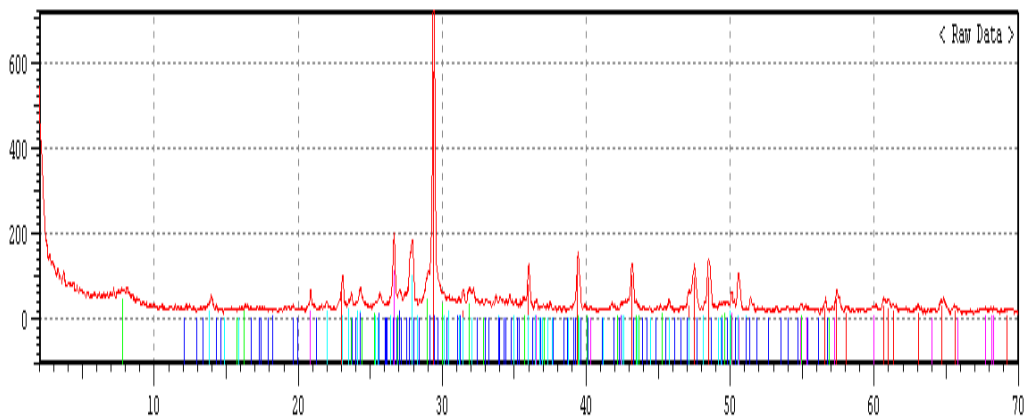


Figura 4. Difractograma de la ceniza de la combustión de eucalipto modificada (CCV-2 M con NaOH 2 M).

De acuerdo a los difractograma dados en las figuras 3 y 4 de las muestras de ceniza de eucalipto inicial y modificado con NaOH 2 M, en ambos casos presentan una fase típica de 2θ igual a $29,40^\circ$.

2. Área BET

El área BET se calculó en el rango de presiones P/Ps entre $<0,05$ a $0,33$ correspondiente a la adsorción de una monocapa. Los puntos de equilibrio se midieron siguiendo el programa GAS MICROMERITICS con un total de 34 puntos y con un tiempo de equilibrio en cada punto de 7 s. Previo a la adsorción, las muestras fueron desgasificadas al vacío durante 2 h a 150°C con el propósito de eliminar el agua y las impurezas superficiales.

La muestra de ceniza de carbón mineral modificada con NaOH 2 M tiene como área BET de $21,83\text{ m}^2/\text{g}$. En la figura 5 se visualiza la isoterma de adsorción de la ceniza modificada con 2 M, curva que corresponde a la clasificación de isoterma del tipo IV, que según el tipo de isoterma presenta una superficie micro mesoporosa.

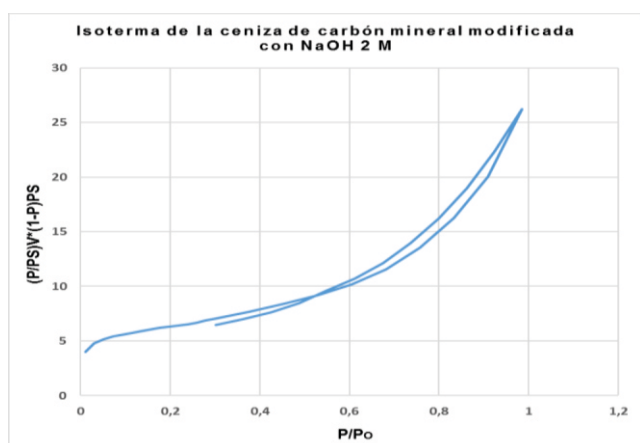


Figura 5. Isoterma de adsorción de la ceniza de la combustión de carbón mineral modificada con NaOH 2 M (CCM-2 M).

La muestra de ceniza de eucalipto modificada con NaOH 2 M presenta un área BET de $15,60\text{ m}^2/\text{g}$. En la figura 6 se visualiza la isoterma de adsorción de la ceniza modificada

con solución de 2 M, curva que corresponde a la clasificación de isoterma del tipo IV, con superficie micro mesoporosa.

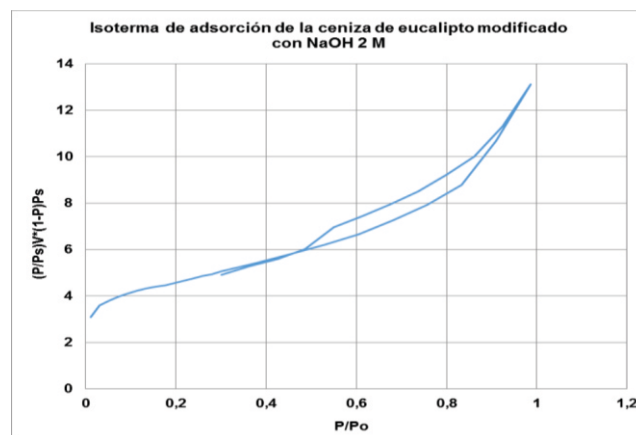


Figura 6. Isoterma de adsorción de la ceniza de la combustión de eucalipto modificada con NaOH 2 M (CCV-2 M).

3. Remoción de arsénico

Las variables bloqueadas para la remoción de arsénico usando los dos tipos de cenizas modificadas fueron:

- Agitación de la remoción arsénico : 300 rpm.
- Volumen de agua de consumo humano : 150 mL.
- Concentración inicial de Arsénico : 0.02440 ppm
- Temperatura de remoción : ambiente (20°C)

En las tablas 3 y 4 se reportan los resultados de la remoción de arsénico usando las cenizas modificadas de la combustión del carbón mineral (CCM-2 M) y de eucalipto (CCV-2 M), respectivamente. La cuantificación de la concentración de arsénico se realizó mediante el equipo ICP-Óptico modelo THERMO FISHER SCIENTIFIC 6500 DUO, con las siguientes condiciones de operación: temperatura de cámara de $-46 \pm 2^\circ\text{C}$, temperatura de la óptica de $38 \pm 1^\circ\text{C}$ y presión mínimo de gas Ar de 80 psi.

En las figuras 7 y 8 se reportan en forma gráfica los resultados de la remoción de arsénico usando las cenizas modificadas de la combustión del carbón mineral (CCM-2 M) y de eucalipto (CCV-2 M), respectivamente.

Tabla 3. Resultados de la remoción de arsénico usando ceniza modificada de la combustión de carbón mineral (CCM-2 M).

Muestras	[As] inicial (ppm)	[As] final (ppm)	[As] removido (ppm)	% de [As] removido
CCM-1	0.0244	0.0170	0.0074	30.33
CCM-2	0.0244	0.0210	0.0034	13.93
CCM-3	0.0244	0.0190	0.0054	22.13
CCM-4	0.0244	0.0175	0.0069	28.28
CCM-5	0.0244	0.0070	0.0174	71.31
CCM-6	0.0244	0.0220	0.0024	9.84
CCM-7	0.0244	0.0210	0.0034	13.93
CCM-8	0.0244	0.0200	0.0044	18.03
CCM-9	0.0244	0.0220	0.0024	9.84

Fuente: Elaboración propia-2018.

Tabla 4. Resultados de la remoción de arsénico usando ceniza modificada de la combustión de eucalipto (CCV-2 M).

Muestras	[As] inicial (ppm)	[As] final (ppm)	[As] removido (ppm)	% de [As] removido
CCV-1	0.0244	0.0130	0.0114	46.72
CCV-2	0.0244	0.0224	0.0020	8.20
CCV-3	0.0244	0.0150	0.0094	38.52
CCV-4	0.0244	0.0090	0.0154	63.11
CCV-5	0.0244	0.0170	0.0074	30.33
CCV-6	0.0244	0.0210	0.0034	13.93
CCV-7	0.0244	0.0200	0.0044	18.03
CCV-8	0.0244	0.0228	0.0016	6.56
CCV-9	0.0244	0.0190	0.0054	22.13

Fuente: Elaboración propia-2018

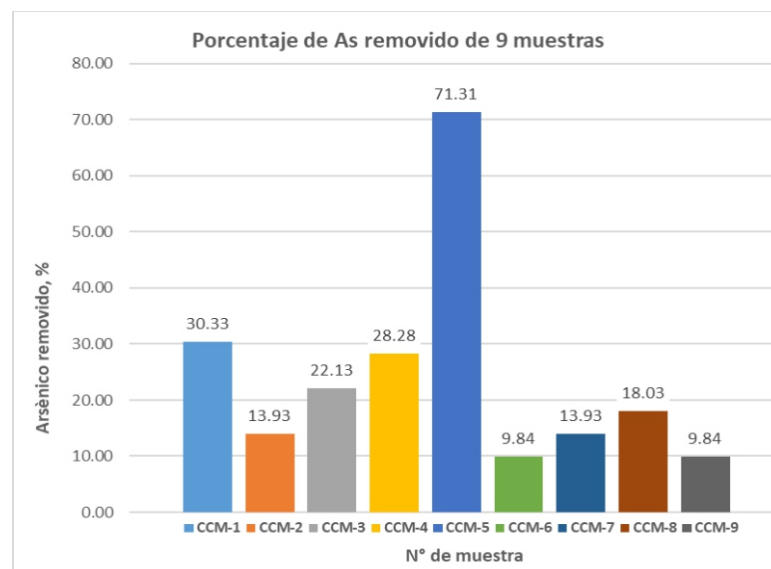


Figura 7. Porcentaje de remoción de As usando ceniza de la combustión de carbón mineral modificada) con NaOH 2 M (CCM-2 M).

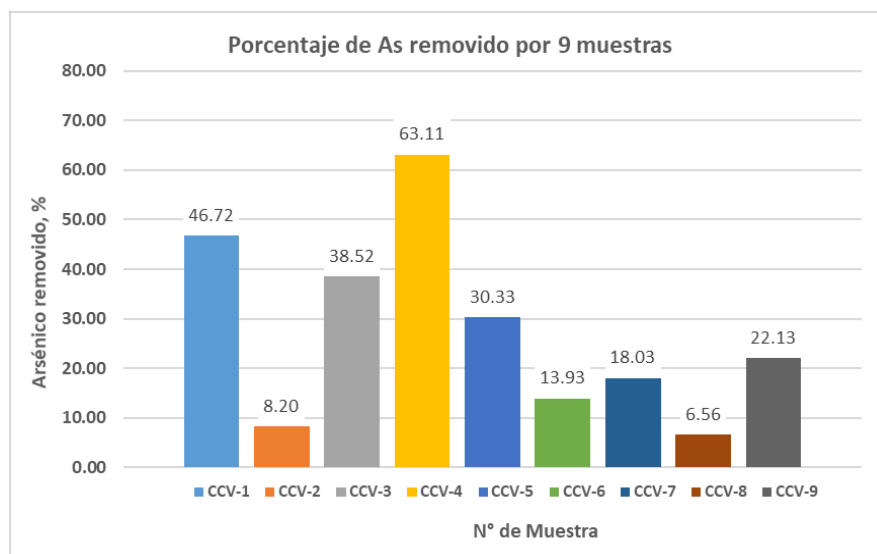


Figura 8. Porcentaje de remoción de As usando ceniza de la combustión de eucalipto modificada con NaOH 2 M (CCV-2 M).

De acuerdo a los resultados dados en la tabla, la muestra N° 05 (CCM-5) presenta el mayor valor de remoción de arsénico, siendo de **71.31 %**, con una concentración final de arsénico de **0.0070 ppm**.

Así mismo en la tabla 4, se visualiza que la muestra N° 04 (CCV-4) presenta remoción de arsénico de **63.11 %**, con una concentración final de arsénico de **0.0090 ppm**.

Por tanto, usando las cenizas modificadas proveniente de la combustión del carbón mineral y de eucalipto, en ambos casos los grados de remoción de arsénico son de 71.31 y 63.11% respectivamente, se concluye que el proceso de remoción ha permitido bajar las concentraciones por debajo de **0.010 ppm de arsénico**, según lo establecido en la Legislación Peruana como es en el Decreto Supremo N° 031-2010- SA referido al Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano y el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Agua.

AGRADECIMIENTO

Muy especial a Palermo Carrasco Guerrero (INGEMMET-Lima) especialista en difracción de rayos X, por el apoyo desinteresado en los análisis de difracción de rayos X, y composición química de los dos tipos de cenizas, al Dr. Gino PICASSO docente de la Escuela de Química de la Universidad Nacional de Ingeniería por la determinación del área de las muestras de cenizas modificadas.

A las Ingenieras Marilyn Martínez Rojas y a Esperanza Rúa por la gentileza en el apoyo en los análisis químicos de arsénico de las muestras de agua usando ICP-POES.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ball David W. "Fisicoquímica" Primera Edición. Editorial International Thomson Editores. México. 2004 pp 783-788.

Cencho Mercado, Susan. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero ambiental: "Uso de biomasa seca (*cáscara de plátano*) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque, a nivel laboratorio - 2018". Universidad Cesar Vallejo Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Trujillo-Perú. 2018.

Chávez Quijada Mary Luz y Miglio Toledo María. Remoción de Arsénico por Oxidación Solar en Aguas para Consumo Humano. Rev. Soc. Quím. Perú. 77 (4) 307-314. 2011.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Arsénico en agua. Informe final. 2018

Farro Pérez N., Reyes Lázaro W., Díaz Camacho J., Mendoza Bobadilla J., Chuquimango Infantes B. y Araujo Yaipén C. Influencia de la proporción de hidróxido de sodio a cenizas volantes en la obtención de zeolitas para purificar efluentes acuosos contaminados con metales pesados.

"Ciencia y Tecnología", AÑO 11, N° 3, 2015, 127-140.

Flores Erasmo, Aurora Armienta, Silvia Micete y María R. Valladares. Tratamiento de Agua para Consumo Humano con Alto Contenido de Arsénico: Estudio de un Caso en Zimapán Hidalgo-México Información Tecnológica 2009. Vol. 20(4), 85-93.

Gutiérrez Pulido, Humberto. Diseños experimentales. Primera Edición. México. 2004.

Joseph W. Leonard, III. (1991). Coal Preparation, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Port City Press, Inc. Batimore Maryland.

Mejía Flérida-Zamudio Jesús L. Valenzuela-García, Salvador Aguayo-Salinas I y Diana Meza-Figueroa. Adsorción de Arsénico en Zeolita Natural Pretratada con Óxidos de Magnesio. Rev. Int. Contam. Ambient. 2009. 25 (4) 217-227.

Rios Elizalde, Paola Elizabeth. Tesis "Cinética de Bioadsorción de Arsénico Utilizando Cáscara de Banano Maduro en Polvo" Trabajo de Titulación en Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad de Machala-Ecuador. 2014.

Singer Arieh and Berggaut Vadim, "Cation Exchange properties of hidrotermal treated coal ceniza volante". Envir Sci. Technol. 1995, Vol. 29, pp. 1748-1753.

Velarde Apaza, Leslie Diana. Tesis Maestría: "Remoción de Arsénico (V) en Medio Acuoso Utilizando Sillar Revestido con Óxidos de Hierro" Universidad Católica de Santa María. Escuela de Postgrado Maestría en Química del Medio Ambiente. Arequipa-Perú. 2016.

Soto Parrera Kimberly Alexandra. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental: "Efecto del carbón activado de la *theobroma cacao* en la adsorción de hierro del agua del río Moche. Universidad Cesar Vallejo. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental. Trujillo-Perú. 2017".