



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“Adsorción de arsénico disuelto en agua subterránea en el distrito  
de Mórrope (Lambayeque) utilizando residuos sólidos de café  
(afrecho)”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**Bachiller: GOICOCHEA NUÑEZ ABRAHAM SAKEO**

**Bachiller: RUIZ CACHAY JESSY JARET**

**ASESOR:**

**DR. VENEGAS KEMPER JOSÉ LUIS**

**Lambayeque – Perú**

**“Adsorción de arsénico disuelto en agua subterránea en el distrito de  
Mórrope (Lambayeque) utilizando residuos sólidos de café (afrecho)”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**Bachiller: GOICOCHEA NUÑEZ ABRAHAM SAKEO  
Bachiller: RUIZ CACHAY JESSY JARET**

**APROBADO POR:**

Dr. César Augusto Monteza Arbulú.

JURADO PRESIDENTE

Ing. Enrique Manuel Montejo Pinillos.

JURADO SECRETARIO

Ing. Julio Humberto Tirado Vásquez.

JURADO VOCAL

Dr. José Luis Venegas Kemper.

ASESOR

### ***DEDICATORIA***

A Dios, por darnos sabiduría y fortaleza para emprender y concluir con una importante etapa de nuestro proceso de formación como profesionales al servicio de la sociedad.

A Daniel Goicochea Díaz, mi padre, quién en vida fue la persona que en los momentos más duros que me tocó vivir siempre supo infundirme la esperanza de que todo mejoraría, la confianza en Dios. Siempre fuiste la roca en la que nos apoyábamos, incluso en tus últimos momentos me infundiste del valor necesario para soportar tu partida. Padre mío, siempre te amaré y espero desde el cielo te sientas alegre de este logro en mi vida. Siempre serás mi ejemplo.- Goicochea Nuñez Abraham.

A nuestros padres, porque son el eje fundamental de nuestra formación, uno de nuestros más grandes sueños era poder seguir una carrera universitaria y gracias a ustedes lo hemos podido lograr. Día a día nos dieron los mejores consejos que permitió darnos cuenta que el estudio es el camino del éxito.

## **AGRADECIMIENTO**

Damos gracias a nuestros padres por brindarnos el apoyo incondicional, por confiar en nuestras perspectivas y metas trazadas. Gracias por estar a nuestro lado y por la paciencia que han tenido con nosotros durante todo este tiempo. Lo que más deseamos es que siempre se sientan orgullosos de tenernos como hijos.

A nuestros familiares que nos apoyaron, en especial a Noé Goicochea Nuñez por ser uno de los principales benefactores de la realización de nuestra tesis y confiar en nuestra capacidad.

A la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la UNPRG por brindarnos las facilidades para el uso de las instalaciones del Laboratorio de Fisicoquímica durante el desarrollo de la parte experimental.

**Contenido**

RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
I. FUNDAMENTO TEÓRICO. ....	6
1.1 Antecedentes de la investigación. ....	6
1.2 Base teórica. ....	11
1.2.1 Aguas contaminadas con metales pesados.....	11
1.2.2 Adsorción de arsénico.....	14
1.2.3 Residuos sólidos de café (afrecho). ....	17
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
2.1 Muestra .....	23
2.2 Materiales, equipos y reactivos .....	23
a. Materiales .....	23
b. Equipos .....	23
c. Reactivos .....	23
2.3 Instrumentos de recolección de datos .....	24
2.4 Procedimiento .....	24
2.4.1 Técnicas de experimentación .....	25
III. RESULTADOS.....	31
3.1 Análisis estadístico de resultados. ....	32
IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	40
V. CONCLUSIONES .....	42
VI. RECOMENDACIONES.....	44
VII. REFERENCIAS .....	46
VIII. ANEXOS .....	52

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Composición de los residuos sólidos de café (afrecho).....	21
Tabla 2. Adsorción de arsénico (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). ....	31
Tabla 3. Análisis de datos estadísticos en QI Macros 2018.....	32
Tabla 4. Descripción del primer modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0.....	32
Tabla 5. Resumen del primer modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0 .....	33
Tabla 6. Coeficientes del primer modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0 .....	33
Tabla 7. Descripción del segundo modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0 .....	34
Tabla 8. Resumen del segundo modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0.....	35
Tabla 9. Coeficientes del segundo modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0.....	35
Tabla 10. Prueba para contrastar hipótesis utilizando el IBM SPSS Statistics 25.0.....	36
Tabla 11. Prueba para contrastación de hipótesis utilizando IBM SPSS Statistics 25.0 .....	37

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Infiltración por vertedero y cultivos-filtración por escombreras. Fuente: Dpto. Geología Univ. Salamanca (2017).....	13
Figura 2. Filtración desde un río influente. Fuente: Dpto. Geología Univ. Salamanca. (2017). ..	13
Figura 3. Diagrama Eh-pH de especies acuosas de arsénico en el sistema As–O <sub>2</sub> –H <sub>2</sub> O a 25°C y 1 bar de presión total. Fuente: Robín Westergren, (2006). .....	15
Figura 4. Diseño de la experimentación. ....	25
Figura 5. Afrecho de café para la experimentación. ....	26
Figura 6. Tratamiento del afrecho de café para antes de la adsorción. ....	26
Figura 7. Proceso de adsorción de arsénico con residuos sólidos de café (afrecho). ....	27
Figura 8. Proceso de adsorción de arsénico con residuos sólidos de café (afrecho). ....	28
Figura 9. Calentamiento de las muestras de agua previo a la aplicación de la técnica ICP. ....	29
Figura 10. Lectura de las muestras de agua después del proceso de adsorción en el equipo ICP-OES. ....	29
Figura 11. Adsorción de arsénico (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). .....	31
<i>Figura 12.</i> Arsénico presente (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). ....	34
Figura 13. Adsorción (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). .....	36
Figura 14. Arsénico presente (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho) .....	37
Figura 15. Capacidades de adsorción (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). .....	38
Figura 16. Certificado de análisis químico de las muestras de la experimentación. ....	52
Figura 17. Proceso de recolección de muestra de agua contaminada. ....	53

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal adsorber arsénico en aguas subterráneas del distrito de Mórrope (Lambayeque) utilizando residuos sólidos de café (afrecho) para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos, preparar las muestras de café para la experimentación y ejecutar la adsorción experimental de arsénico, aplicar método analítico a través de la técnica de espectroscopia de emisión óptica para determinar analíticamente la cantidad de arsénico presente en agua antes y después del proceso de adsorción.

La metodología de la investigación, comprendió la recolección de agua del pozo subterráneo del distrito de Mórrope, que abastece al Centro Poblado de Cruz del Médano y residuos de café (afrecho), lavado del café con agua destilada, tratamiento térmico a una temperatura de 100°C. por 24 horas, pesado de 7 muestras con cantidades diferentes de afrecho de café seco, preparación de 8 muestras de 250 ml. cada una del agua contaminada con arsénico en matraces Erlenmeyer de 300 ml, 7 muestras para la experimentación y 1 muestra en blanco para determinación de arsénico antes de la adsorción. A cada uno de los 7 matraces con agua se añadió las 7 muestras de afrecho de café. Los matraces fueron calentados a 30°C durante 90 minutos con agitación continua, utilizando una cocina eléctrica de plato y agitador magnético. Terminada esta operación, se filtró cada una de las muestras y el filtrado se recibió en botellas de vidrio transparentes, previamente esterilizadas. Estas muestras, incluida la muestra en blanco, fueron trasladadas al laboratorio para la determinación de presencia de arsénico.

El análisis se realizó por Espectroscopia de Emisión con fuente de Plasma de acoplamiento Inductivo (ICP), en los laboratorios de la Facultad de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, en la que se determinó que la dosis máxima de residuos de café (afrecho) para la adsorción de arsénico fue de 12g. por litro de agua contaminada. Esta dosis adsorbió 0.09 mg de arsénico por litro de agua que equivale al 36% del arsénico presente en el agua contaminada. Con este resultado se puede afirmar que la capacidad de adsorción del afrecho residual de café es mínima, y no asegura una adsorción total.

Palabras clave: adsorción, arsénico, afrecho, agua subterránea, espectroscopia.



## ABSTRACT

The main objective of this research was to adsorb arsenic in the groundwater of the district of Mórrope (Lambayeque) using solid coffee residues (bran) for which the following specific objectives were set, to prepare the coffee samples for experimentation and to execute the experimental arsenic adsorption, apply analytical method through the optical emission spectroscopy technique to analytically determine the amount of arsenic present in water before and after the adsorption process.

The methodology of the investigation, included the collection of water from the underground well of the district of Mórrope, which supplies the Town Center of Cruz del Médano and coffee residues (bran), coffee washing with distilled water, heat treatment at a temperature of 100 ° C. for 24 hours, weighing 7 samples with different amounts of dried coffee bran, preparing 8 samples of 250 ml. each of the water contaminated with arsenic in 300 ml Erlenmeyer flasks, 7 samples for experimentation and 1 blank sample for determination of arsenic before adsorption. The 7 samples of coffee bran were added to each of the 7 flasks with water. The flasks were heated at 30 ° C for 90 minutes with continuous agitation, using an electric plate cooker and magnetic stirrer. After this operation, each of the samples was filtered and the filtrate was received in transparent glass bottles, previously sterilized. These samples, including the blank sample, were transferred to the laboratory for the determination of the presence of arsenic.

The analysis was carried out by Emission Spectroscopy with an Inductive Coupling Plasma source (ICP), in the laboratories of the Faculty of Metallurgy of the National University of Trujillo, in which it was determined that the maximum dose of coffee residues (bran) for the arsenic adsorption was 12g. per liter of contaminated water. This dose adsorbed 0.09 mg of arsenic per liter of water equivalent to 36% of the arsenic present in the contaminated water. With this result it can be affirmed that the capacity of adsorption of the residual coffee bran is minimal, and does not ensure total adsorption.

Key words: adsorption, arsenic, bran, groundwater, spectroscopy.

## INTRODUCCIÓN

El Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN, 2018) por intermedio de la Gerencia General de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque-EPSEL S.A dio a conocer que de acuerdo a sus análisis realizados en aguas subterráneas del distrito de Mórrope encontraron presencia de arsénico en cantidad de 0.03 mg/L, e incumple la normatividad vigente, lo que representa un nivel de riesgo grave para la salud humana.

La exposición humana al arsénico puede darse por ingestión, inhalación o adsorción a través de la piel; en casos de ingesta excesiva, una parte del arsénico es depositado en los tejidos causando la inhibición de la actividad enzimática celular. El arsénico produce efectos en una amplia gama de sistemas orgánicos en humanos y hasta el momento no se ha demostrado ningún rol biológico o como elemento esencial. (Trelles, 2013, p.4)

Según el Centro Internacional para la Investigación sobre Cáncer (CIIC) (como se citó en Trelles, 2013) concluyó que “existe evidencia suficiente de que el arsénico en el agua de bebida causa cáncer de vejiga, pulmón y piel en humanos”. Actualmente, el CIIC clasifica a los compuestos inorgánicos de arsénico en el Grupo I, cancerígenos para el ser humano.

Según el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE, 2016) en la preparación de la bebida de café, el 95% restante está representado por residuos sólidos orgánicos que presentan diferentes composiciones químicas y que al ser eliminados al ambiente se genera una fermentación que emite olores indeseables.

La justificación del presente trabajo, se sustenta en que nos va a permitir conocer la capacidad del afrecho del café de adsorber el arsénico que contamina el agua y aprovechar los residuos de café que contaminan el ambiente.

La toxicidad del arsénico es conocida a través de los incidentes por envenenamiento de seres humanos y por el uso que se le ha dado en medicina. En la actualidad, los reportes epidemiológicos de cáncer y problemas como la enfermedad de pie negro y lesiones cutáneas, asociados al arsénico

han generado un creciente interés sobre los efectos que la exposición crónica de este elemento causa, debido a la ingesta y uso de agua contaminada, por lo que ya se le considera un problema de salud pública. (Paredes, 2012, p.3)

En la preparación de café soluble se genera un afrecho compuesto por residuos sólidos y la eliminación de este subproducto es una preocupación ambiental, por lo tanto han atraído la atención como fuente de compuestos bioactivos (Ramalaskshmi, Rao, Takano-Ishikawa y Goto, 2009).

El problema planteado en esta investigación es ¿Cómo los residuos del café, afrecho adsorben el arsénico disuelto en agua subterránea del distrito de Mórrope, Lambayeque?.

El desarrollo de esta investigación se justifica en la medida que los resultados serán un aporte para la ciencia y tecnología del medio ambiente en lo que se refiere a tratamiento de agua subterránea y al aprovechamiento de los residuos de café (afrecho) que se eliminan al ambiente y que por su descomposición generan contaminantes. Con este trabajo resultarán beneficiados los pobladores que viven en este distrito y utilizan el agua contaminada para su uso en la preparación de alimentos y demás necesidades, generando un impacto positivo en la sociedad, en el ambiente industrial y académico.

El desarrollo de esta investigación comprende 5 capítulos. El primero referido al fundamento teórico que describe conceptos fundamentales de las aguas contaminadas y los residuos de café, en el capítulo 2 se muestra el material utilizado y el método aplicado para la determinación de arsénico. En los capítulos 3 y 4 describen los resultados y la discusión de los mismos respectivamente, y en el capítulo 5 se muestran las conclusiones de la investigación. El trabajo concluye con recomendaciones, referencias y anexos.

# CAPÍTULO I

## **I.FUNDAMENTO TEÓRICO.**

### **1.1 Antecedentes de la investigación.**

Gnu Nam, Min-su Kim, Namju Lee, Young-Hoon Choi & Ji Whan Ahn (2017) en su estudio de investigación “Un enfoque ambientalmente benigno para As (V) adsorción de aguas residuales utilizando café sin tratar, fundamentos de los resultados preliminares”, realizado en Corea, cuyo objetivo fue evaluar la utilidad de los desechos de café renovables como adsorbente para extraer arsénico de las aguas residuales. Los autores llegan a la conclusión que pruebas preliminares para la eliminación de arsénico de aguas residuales utilizando café molido sin tratar tienen demostrado que el desperdicio de café es un posible material como adsorbente para la extracción de arsénico. Se observaron mejores propiedades de adsorción en los ambientes ácidos y básicos que en las condiciones de pH neutro. La adsorción máxima observada en concentración de arsénico en 1 g de café molido fue de 6.44 mg / L a 1.00 mM de solución de arsénico a pH 7. El área superficial BET era 0.0469 m<sup>2</sup> / g, que era un valor bastante bajo como adsorbente, pero la distribución de los poros de adsorción y las isothermas de adsorción-desorción indicaron que los granos del café tenían una estructura mesoporosa, mostrando suficiente posibilidad como adsorbente. Para mejorar la adsorción y para usos prácticos, un proceso de pre-tratamiento tal como la calcinación y modificación con algunos reactivos químicos están siendo perseguidos.

Deekshitha, Kavya, Pooja, Nandini, & Shilpa, (2016) en su estudio de investigación “Eliminación de arsénico (III) usando almendras”, realizado en la India, cuyo objetivo fue conocer la viabilidad de las cáscaras de almendras como adsorbente en la eliminación de arsénico. La capacidad de adsorción del presente adsorbente se estudió en función del pH, la dosificación del adsorbente y el tiempo de contacto. Los autores llegan a la conclusión por efectos de la investigación que para las almendras pirolizadas y las no pirolizadas, se encontró que el pH óptimo era 4 y 5 respectivamente. La dosificación efectiva de las conchas pirolizadas y no pirolizadas fue de 2 y 2,2 g/L, respectivamente, y el tiempo de contacto óptimo para las conchas pirolizadas y no pirolizadas fue de 30 minutos y 25 minutos respectivamente para la solución sintética. El resultado demuestra que las cáscaras de almendra son un adsorbente efectivo en la eliminación de arsénico.

Atiqur Rahman, Mohammad Arifur Rahman, Abdus Samad & Abdul Alam (2008) en su estudio de investigación “Eliminación de arsénico con concha de ostra: mediciones experimentales”, realizado en Bangladés, cuyo objetivo fue evaluar el uso de la cáscara de ostra de desecho sin ningún producto químico para pre-tratamiento como un adsorbente alternativo para eliminar As (III) de un medio acuoso. Por otra parte la aplicación también se dio para la remoción de arsénico en muestras de agua potable contaminadas en una operación de columna de un solo paso. Los autores llegan a la conclusión por efectos de la investigación que Los sistemas de tratamiento de columna propuestos son enfoques caseros apropiados e idóneos para la eliminación de arsénico en áreas locales, debido a su simplicidad y fácil operación y manejo. Los materiales (concha de ostra) utilizados como adsorbentes para la eliminación de arsénico del agua sin ningún tratamiento químico. Por lo tanto, este método sería un método de eliminación de arsénico muy adecuado para un país en desarrollo.

Westergren (2016) en su estudio de investigación “Eliminación de arsénico mediante biosorción con quitosano”, realizado en Nicaragua, cuyo objetivo fue evaluar el rendimiento de extracción y adsorción de quitosano a partir de desechos de conchas del camarón para la eliminación de arsénico. Se estudió el biopolímero quitosano como un potencial material adsorbente para la remoción de arsénico de soluciones acuosas para propósitos de diseño en el tratamiento de agua. El quitosano usado en este estudio fue extraído del caparazón de camarón con un rendimiento global del 40% y un grado de desacetilación del 59%. Utilizando la isoterma de Langmuir, se determinó que la máxima capacidad de adsorción fue de 20.9 mg As/g de quitosano a un pH controlado de 5.5. Se encontró que la adsorción depende fuertemente del pH con un aumento cuatro veces mayor en la capacidad de adsorción cuando el pH está por debajo del pKa del quitosano. La dependencia del pH indica que el intercambio iónico es el mecanismo más importante. Además, se detectó que no hay diferencia en la capacidad de adsorción con respecto al pH inicial de la solución en un rango de pH de 3-7. Esto fue atribuido a la habilidad del quitosano de actuar como una base débil en soluciones acuosas. El autor llega a la conclusión por efectos de la investigación la posibilidad de regenerar el adsorbente y el hecho de que la adsorción procede de manera más efectiva bajo condiciones ácidas, las condiciones dirigen el proceso de biosorción al tratamiento de aguas industriales sin procesar y efluentes mineros. (p.5)

Paredes (2012) en su estudio de investigación “Remoción de arsénico del agua para uso y consumo humano mediante diferentes materiales de adsorción”, realizado en México, cuyo objetivo fue realizar la remoción de arsénico del agua para uso y consumo humano, mediante tres medios adsorbentes a escala de laboratorio para que cumpla los requerimientos de los límites máximos permisibles que indica la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, el autor llega a la conclusión que se realizó la remoción de arsénico por medio de los tres adsorbentes utilizados, resultando con la Goethita 0.015 mg/L, con el DOW 0.015 mg/L y con la pectina ácida 0.020 mg/L, cumpliendo así con el límite máximo permisible por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994 de 0.025 mg/L. El adsorbente óxido-hidróxido de hierro (Goethita) con respecto a las cinéticas, presenta una mayor constante de velocidad de adsorción de arsénico 7.409 g/mg min, en agua sintética y 1.863 g/mg min para el agua natural. Respecto al análisis del área superficial y porosidad, el mecanismo de adsorción del As (IV) en los adsorbentes es superficial. (p.1)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2008) en su estudio de investigación “Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada”, realizado en México, cuyo objetivo fue la efectividad en la utilización de un medio adsorbente de zeolita natural (clinoptilolita) recubierta con óxidos de hierro, a partir de cloruro férrico, para remover arsénico de aguas naturales. Los autores llegan a la conclusión que los mejores resultados de remoción de arsénico fueron obtenidos con las zeolitas acondicionadas mediante evaporación de soluciones de hierro en presencia del medio granular, en especial cuando se usan sales de hierro III. Este método es capaz de fijar una capa de óxidos de hierro que modifica las características superficiales de la zeolita, transformando su carga eléctrica superficial neta a valores positivos. Dicha característica favorece la adsorción de especies de arsénico (negativas) mediante interacciones electrostáticas. Del análisis de la influencia de factores (pH, masa de zeolita y tiempo de contacto) sobre la eficiencia de remoción de arsénico, sobresale el efecto que causa el cambio de pH. Valores de pH ácidos entre 5.5 y 6.5, producen las mayores eficiencias de tratamiento.

Trelles (2013) en su estudio de investigación “Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomasa vegetales inertes”, realizado en Perú (Lima), cuyo objetivo fue identificar la viabilidad de biomasa inertes de especies vegetales para la biosorción de arsénico en medio acuoso mediante la identificación y determinación de los parámetros que describen dichos procesos de biosorción. El autor llega a la conclusión por efecto de la investigación que los porcentajes de remoción máximos se dieron para las muestras de cáscaras de frijol (78.9%), cascarilla de arroz (77%) y granos de cebada (77%); confirmando experiencias anteriores con estos materiales donde también se reportaron remociones significativas para otros metales pesados. La capacidad de remoción de arsénico se ve afectada por la masa de biosorbente y la concentración inicial de arsénico. Para las especies analizadas, los valores de masa de biosorbente y concentración inicial de arsénico para las que se observó la mayor remoción fueron 3.33 gramos por litro de muestra y 250 µg/l respectivamente. Otras especies como cacao ( $n_{cacao}=0.6376$ ), trigo ( $n_{trigo}=0.7978$ ) y noni ( $n_{noni}=0.9176$ ) también presentaron valores de que podrían indicar una capacidad de biosorción apreciable; sin embargo la misma no se evidenció en los otros trenes de ensayo realizados, por lo que ensayos adicionales con estas especies son requeridos para confirmar dicha capacidad. (p.4)

Meza (2017) en su estudio de investigación “Estudio de la adsorción de arsénico presente en soluciones acuosas empleando materiales adsorbentes a base de quitosano modificado”, realizado en Perú (Lima) cuyo objetivo fue estudiar el proceso de adsorción del arsénico presente en soluciones acuosas, empleando materiales adsorbentes a base de quitosano modificado. El autor llega a la conclusión por efectos de la investigación que la evaluación del pH y masa del adsorbente en el estudio de adsorción, demostró que en general la adsorción de As (III) se favorece a pH 7 y con 30 mg de adsorbente y de As (V) a pH 4 y 20 mg. El efecto del pH se pudo explicar por la especiación que sufren los adsorbatos y las modificaciones que este factor causa en la carga superficial de los adsorbentes, siendo la especiación el efecto determinante. Los resultados en base a la mayor capacidad de adsorción obtenida para As (III) y As (V), respectivamente, logradas a una concentración inicial de 200 µg.L<sup>-1</sup> de cada adsorbato, indicaron el siguiente orden en los adsorbentes: Fe-CMQ (259,8 y 268,2 µg.g<sup>-1</sup>) > Fe-QUI (244,1 y 247,7 µg.g<sup>-1</sup>) > QUI (108,1 y 210,1 µg.g<sup>-1</sup>) >> CMQ (6,9 y 11,3 µg.g<sup>-1</sup>). Este orden estaría directamente relacionado con la especiación de los adsorbatos y a las posibles interacciones entre el adsorbato-adsorbente (Fe-QUI



y Fe-CMQ, interacción ácido/base y electrostática; QUI y CMQ registraría solo el principio de interacción electrostática). (p.1)

Tapia (2017) en su estudio de investigación “Evaluación de arsénico con chacko (Hidralgiritita) en aguas subterráneas contaminadas del distrito de Taraco – Puno”, realizado en Perú cuyo objetivo fue evaluar la adsorción de arsénico usando chacko (Hidralgiritita) natural con alto contenido de óxidos minerales en aguas subterráneas contaminadas del Distrito de Taraco - Puno. El autor llega a la conclusión que existen métodos convencionales y no convencionales para la remoción de arsénico a partir de aguas contaminadas. Los métodos no convencionales muestran mayor capacidad de adsorción de arsénico. Los adsorbentes con alto contenido de óxido de hierro, óxido de manganeso muestra mayor capacidad de adsorción de arsénico. En la evaluación de las variables más influyentes de la adsorción de As, se obtuvieron condiciones favorables: tiempo de contacto 70 min, cantidad de adsorbente 0.2 g; pH 7.5 y temperatura 25°C. En la cinética de adsorción se evaluaron los cinéticos de Pseudo primer orden, Pseudo segundo orden, Elovich y Difusión intrapartícula. Los datos cinéticos indicaron que el modelo de Pseudo orden describió mejor la velocidad de adsorción del ion As con constante de velocidad de Pseudo segundo orden:  $k_2=42.61$  g/mg.min y  $R^2=0.9907$  para variación de tiempos de 20 – 90 min. Se llegó a una máxima porcentaje de capacidad adsorción de As con Chacko (Hidralgiritita) al 84%. La contaminación de aguas subterráneas a causa de actividades mineras puede causar diferentes impactos. Su origen es variado y difícil de evaluar en muchos casos debido a que estas actividades se desarrollan en las condiciones geográficas más diversas, generando un gran número de problemas medioambientales, entre los que merecen destacar, la contaminación de las aguas subterráneas por drenaje de aguas ácidas (pH menor que 5) resultado de los drenajes de agua de minas y lixiviado de las escombreras de residuos mineros, ricos en sustancias tóxicas solubles, como metales pesados (níquel, hierro, cobre, zinc, cromo) y sólidos en suspensión. (p.13)

No se encontraron estudios a nivel local.

## 1.2 Base teórica.

### 1.2.1 Aguas contaminadas con metales pesados.

#### *1.2.1.1 Metales pesados.*

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos mercurio, níquel, cobre, plomo, arsénico y cromo. El incremento de concentración en las aguas de estos compuestos se debe principalmente a contaminación puntual de origen industrial o minero. Los lixiviados de vertederos o vertidos de aguas residuales pueden ser asimismo una fuente de contaminación. Hay que señalar también que en algunos casos existen aguas que sufren un proceso de enriquecimiento natural en metales pesados al atravesar acuíferos formados por rocas que los contienen en su composición (Universidad Iberoamericana [UIA], 2003).

Específicamente, la contaminación del agua por metales pesados ocasionada por vía antrópica y natural, está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y salud pública. Estudios recientes reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa. Esta contaminación, proviene, entre otros causales, del uso para riego de aguas afectadas (Reyes, Vergara, Torres, Díaz y González, 2016).

Al contrario de muchos contaminantes orgánicos los metales pesados, generalmente, no se eliminan de los ecosistemas acuáticos por procesos naturales debido a que no son biodegradables. Por el contrario son muy contaminantes y sufren un ciclo global ecobiológico, donde las aguas naturales son el principal camino. Hoy en día los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad ecológica de todo flujo de agua debido a su toxicidad y muy especialmente al comportamiento bioacumulativo (Bernhard, Brinckman y Sadler, 1986).

Asimismo los metales pesados tienen tendencia a formar asociaciones con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de combinaciones químicas, etc., por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares (Salomons & Förstner, 1984).

Las altas concentraciones de metales pesados en las aguas de corrientes fluviales asociados a sulfuros tales como el arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) pueden atribuirse a la minería lo cual son causa del fuerte impacto en el medio ambiente. En cambio, otros metales no-sulfurosos como el cromo (Cr), níquel (Ni) y mercurio (Hg) posiblemente indican una contaminación antropogénica de metales pesados que están estrechamente asociados con las descargas industriales (Salomons, 1995).

#### ***1.2.1.2 Aguas contaminadas***

Sánchez (2017) afirma que hay grandes diferencias entre la contaminación de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas que hacen que la de éstas últimas sea más grave:

- En la detección: En aguas superficiales la contaminación es perceptible de inmediato, con lo que las posibles medidas de corrección pueden ponerse en marcha inmediatamente. En las aguas subterráneas, cuando se detecta el problema, pueden haber transcurrido meses o años.
- En la solución: Las aguas de un río se renuevan con la rapidez de su flujo, de modo que, anulado el origen de la polución, en un plazo breve la calidad del agua vuelve a la normalidad. En los acuíferos, como su flujo es tan lento y los volúmenes tan grandes, se necesita mucho tiempo para que se renueve varias veces todo el agua contenida en él, e incluso entonces el problema persiste por las sustancias que quedaron adsorbidas en el acuífero. La descontaminación de acuíferos por medios artificiales es muy costosa y normalmente sólo es aplicable en acuíferos superficiales y no muy extensos.

Las aguas subterráneas no están directamente expuestas a los efectos de las actividades humanas, desarrolladas normalmente en superficie. No obstante, las sustancias contaminantes llegan a los acuíferos de diversos modos:

- Infiltración de sustancias depositadas en superficie, o de la lluvia a través de ellas.

- Filtración de sustancias almacenadas bajo tierra, o disolución de ellas por el flujo natural del agua subterránea.
- Filtración desde un río influente.
- Derrames o rezumes accidentales de depósitos o conducciones, superficiales o enterrados.

(p.1)

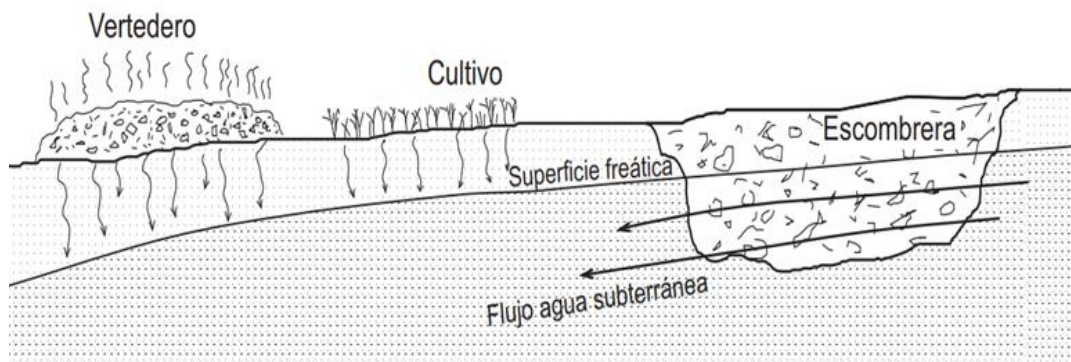


Figura 1. Infiltración por vertedero y cultivos-filtración por escombreras. Fuente: Dpto. Geología Univ. Salamanca (2017).

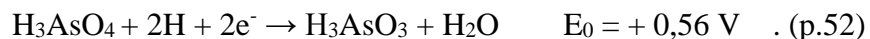
- Desde la superficie a través de captaciones abandonadas o mal construidas.
- Desde otro acuífero, a través de captaciones que comuniquen ambos acuíferos. Aunque no se haya colocado rejilla en el acuífero contaminado la comunicación aún puede producirse a través del empaque de gravas.
- Inyección en pozos. En ocasiones ocultamente, otras veces tras un minucioso estudio técnico. A través de alguna de estas vías los contaminantes alcanzan en la mayoría de los casos la superficie freática más superficial, y posteriormente se expanden y difunden, siendo transportados por el flujo subterráneo. (Sánchez, 2017, p.2)



Figura 2. Filtración desde un río influente. Fuente: Dpto. Geología Univ. Salamanca. (2017).

### 1.2.2 Adsorción de arsénico.

Arce (2013) afirma que el arsénico es considerado un metaloide. Se encuentra en diferentes estados de oxidación y especies de diferente tipo, por ejemplo, como  $\text{As}^{5+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{As}^0$  y como  $\text{As}^{-3}$ . En medios oxidantes aparece sobre todo como oxianiones. El sistema redox  $\text{As}^{3+} / \text{As}^{5+}$  se puede describir como sigue:



La especiación del arsénico es un factor determinante al momento de diseñar un sistema de tratamiento para abatir el elemento. El pH y el potencial redox son los factores más importantes que controlan la especiación del arsénico. Su especiación está bien estudiada y se puede ver gráficamente en la figura 3. Si bien el arsénico puede encontrarse en varios estados de oxidación (-3, 0, +3 y +5), las especies más comunes en aguas naturales son los oxoaniones trivalentes ( $\text{As}(\text{III})$ ) y pentavalentes ( $\text{As}(\text{V})$ ) (Smedley & Kinniburgh, 2002).

Las especies pentavalentes del arsénico predominan y se mantienen estables en medios aeróbicos ricos en oxígeno, mientras que las especies trivalentes predominan en ambientes menos oxigenados como es el caso de aguas subterráneas. El estado de oxidación del arsénico, y por tanto su movilidad, están controlados fundamentalmente por las condiciones redox (potencial redox, Eh) y el pH. Las especies trivalentes del arsénico inorgánico son más tóxicas y de mayor movilidad que las pentavalentes. Además, el  $\text{As}(\text{V})$  es más fácil de ser adsorbidas y retenidas en distintas superficies. Por esto, la mayoría de las tecnologías son más eficientes en remover el arsénico en su estado pentavalente, razón por la cual comúnmente el tratamiento comienza por un paso de oxidación. (Figuerola, 2013, p.6)

Suzuki (como se citó en Figuerola, 2013) afirma que la adsorción es un proceso de transferencia de masa donde una sustancia es transportada desde la fase líquida a la superficie de un sólido y queda atrapada por fuerzas físicas o químicas. Este proceso ocurre sobre partículas sólidas en medios fijos. Es un fenómeno de superficie y por lo tanto cuanto mayor es el área del medio, mayor es la capacidad de acumular material. Dicho fenómeno se produce principalmente por las fuerzas de Van der Waals y electrostática entre las moléculas adsorbidas y la superficie del medio

adsorbente. Así, un adsorbente es caracterizado primero por sus características de superficie como el área específica y polaridad.

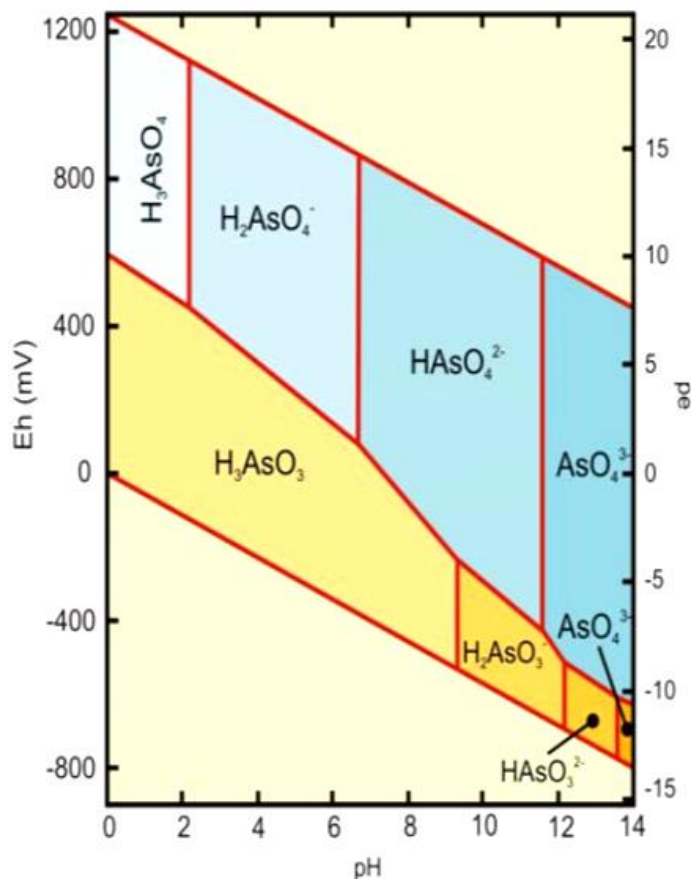


Figura 3. Diagrama Eh-pH de especies acuosas de arsénico en el sistema As-O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O a 25°C y 1 bar de presión total. Fuente: Robín Westergren, (2006).

Hay bastante literatura sobre el estudio de la química de superficies y la adsorción física. Por esto, se conocen bastante bien los factores que influyen en el fenómeno, estos son los siguientes: composición física y química del material adsorbido y del medio adsorbente, superficie específica y tamaño de poro del medio adsorbente, tamaño y polaridad de las moléculas adsorbidas, entre otros. Además importan algunas características del agua a tratar como es el pH y la temperatura. Otro factor que influye sobre el proceso de adsorción es el de tiempo de exposición entre el agua y el medio adsorbente, esto es, el tiempo de residencia en el sistema. (Cheremisinoff, 2002, p.396)

Leyva (2011) afirma que algunos adsorbentes comerciales son los siguientes:

- Carbón Activado (\$1 Mil Millones).
- Zeolitas Tamices Moleculares (\$100 Millones).
- Gel de Sílice (\$27 Millones).
- Alúmina Activada (\$26 Millones). (p.3)

El arsénico puede ser adsorbido en la superficie de varios adsorbentes orgánicos. Estos pueden ser:

✓ *Adsorbentes basados en zeolitas.*

El término zeolita agrupa un conjunto de materiales microporosos abiertos, donde el diámetro del microporo puede oscilar entre 2 y 20 Å. Este sistema de microporos le confiere a los materiales zeolíticos excelentes propiedades, pues permite la transferencia de materia entre el espacio intra-cristalino y el medio que lo rodea. La regularidad, en cuanto a la forma y el tamaño, en el sistema de canales y cavidades interconectadas, justifica la mayoría de las aplicaciones de estos materiales como "tamices moleculares", pero además de esta función, las Zeolitas pueden emplearse en los procesos de separación de gases y catálisis heterogénea. Como sólidos porosos con una importante superficie interna, ofrecen la posibilidad de incorporar y adsorber moléculas o iones en su enrejado abierto y sobre su superficie. La presencia de surfactantes sobre su superficie externa induce e incrementa la co-adsorción de diferentes moléculas orgánicas (Marka & Torres 2015).

✓ *Adsorbentes basados en carbón activado.*

El carbón activado posee la virtud de adherir o retener en su superficie uno o más componentes (átomos, moléculas, iones) del líquido que está en contacto con él. Este fenómeno se denomina poder adsorbente. La adsorción es la responsable de purificar, deodorizar y decolorar el agua u otros sólidos, líquidos o gases que entren en contacto con el elemento adsorbente. El carbón activado se caracteriza por poseer una superficie específica (alrededor de 500 a 1500m<sup>2</sup> por gramo) con una infinita cantidad de poros muy finos que son los que retienen (adsorben) ciertos compuestos no deseados. Son las altas temperaturas, la atmósfera especial y la inyección de

vapor del proceso de fabricación del carbón activado lo que “activa” y crea la porosidad. Los poros varían en tamaño desde “microporos” de 20°A, “mesoporos” de 20°A a 100°A, hasta “macroporos” de más de 100°A. El área de superficie del carbón activado varía dependiendo de la materia prima y del proceso de activación (Marka & Torres 2015).

### **1.2.3 Residuos sólidos de café (afrecho).**

El café es la segunda mercancía comercializada en el mundo, tras el petróleo. Se estima en 125 millones el número de personas que vive del cultivo del café, incluyendo 25 millones de pequeños productores. Cada año se beben 400.000 millones de tazas de café. Respecto al café, la unidad de medida es la bolsa de 60 Kg. Los mayores exportadores del café son los sudamericanos, Colombia y Brasil han exportado desde hace décadas millones de toneladas de éste producto a todo el mundo. Dicen que de cada 10 hogares del mundo en los que se consume café en 9 de ellos el café proviene de América Latina más específicamente de América del Sur, de Colombia, Brasil o el Perú. También están en la lista Ecuador y Venezuela como productores. (Galindo, 2011, p.24)

Galindo (2011) afirma que para la elaboración de café soluble a escala industrial existen varias etapas que se mencionan a continuación:

- Recepción y almacenamiento del café en grano.
- Limpieza del café en grano.
- Tostado del café en grano.
- Molienda del café tostado.
- Extracción de los sólidos solubles del café tostado y molido.
- Clarificación - Separación de sólidos suspendidos en el extracto.
- Concentración del extracto clarificado.
- Secado del extracto de café concentrado.
- Envasado del café soluble. (p.52)

“La extracción permite obtener extracto de café, mismo que tras ser conseguido pasará por el proceso de clarificación, este permite extraer del producto los componentes no solubles que hayan podido mantenerse en el extracto” (Altomayo Perú SAC, 2017, p.3).



Esta etapa también llamada “Separación de sólidos suspendidos en el extracto”, se genera un residuo que sale del proceso, el extracto contiene sólidos no solubles que se encuentran suspendidos y que no se pueden procesar. Estas sustancias se eliminan para obtener un producto libre de impurezas, actualmente se pueden utilizar dos tipos de separación para procesar el extracto, ya sea por filtración o por centrifugación (Galindo, 2011).

Estos residuos son también conocidos con los términos de “borra”, “afrecho” y “café utilizado” tienen tamaño fino de partícula, alta humedad (en el intervalo de 80% a 85%), carga orgánica, y acidez, obtenido durante el tratamiento de café tostado en polvo con agua caliente o vapor para la preparación de café instantáneo, es un importante subproducto de la industria del café, teniendo en cuenta que casi el 50% de la producción mundial de café se procesa para la obtención de café soluble (López, 2014).

“En promedio una tonelada de café verde genera alrededor de 650 kg de este residuo sólido y alrededor de 2 kg de este residuo se obtiene por cada 1 kg de café soluble producido” (Murthy & Naidu, 2012). Entonces, se puede decir que “La eliminación de este subproducto es una preocupación ambiental, por lo tanto han atraído la atención como fuente de compuestos bioactivos” (Ramalakshmi, Rao, Takono-Ishikawa y Goto, 2009).

“Este residuo es rico en azúcares como manosa y galactosa, junto con una fracción significativa de proteínas” (Mussatto, Carneiro, Silva, Roberto y Teixeira, 2011). Teniendo en cuenta que “la composición química varía de una planta a otra, también varía dentro de las plantas de diferentes ubicaciones geográficas, edades, el clima y las condiciones del suelo” (Murthy & Naidu, 2012).

López (2014) afirma que se han realizado diversos estudios en la aplicación de este residuo sólido (afrecho) como son los siguientes: Aplicado en la producción de biodiesel (Caetano et al., 2102), como fuente de azúcares (Mussatto et al., 2011), como precursor para la producción de carbón activado (Reffas et al., 2010; Kante et al., 2012; Tsai et al., 2012), como composta (Preethu et al., 2007), como adsorbente para la eliminación de iones metálicos (Fiol et al., 2008; Oliveira et al., 2008). (p.20)

A pesar de que estos residuos de café (afrecho) están constituidos por compuestos que pueden tener interés comercial, no tiene un uso específico definido. Las mismas fábricas lo utilizan como combustible en las calderas (13% de la producción), otra parte es incinerada sin uso definido (27%) y el resto (equivalente al 60%) se utiliza en rellenos sanitarios (García y Riaño, 1999). Además, los residuos de café, contienen humedad y materia orgánica diversa, que produce virus dañinos y emite malos olores. Como uno de los diversos métodos para manejar los residuos de café, se ha explorado el uso de los residuos como adsorbentes como un posible candidato para la extracción de elementos de metales pesados de las aguas residuales, ya que los granos de café poseen muchos poros para capturar las materias específicas y contenerlas, varios grupos funcionales, incluidos los grupos hidroxilo y amino en la superficie del café, que producen sustancias específicas adsorbidas por una interacción química (Gnu Nam, Min-su Kim, Namju Lee, Young-Hoon Choi & Ji Whan Ahn, 2017).

Se investigó la composición química de los residuos de café generados en una industria de café soluble. La caracterización química incluyó análisis elemental, composición mineral y contenido de cenizas, composición sumativa; grupos funcionales ácidos, extractivos lipófilos, polifenoles totales, determinación de taninos condensados y análisis FTIR. Las muestras de afrecho de café mostraron alto contenido de carbono ( $> 58\%$ ), bajo contenido de nitrógeno ( $< 2\%$ ), bajo contenido de cenizas ( $< 1\%$ ) y bajo coeficiente de polaridad  $(O + N) / C$  ( $< 0.5$ ). La composición sumativa revela que los extractivos son los componentes principales de los residuos de café (54%). Este porcentaje incluye fracciones lipófilas (24%), etanol y compuestos solubles en agua (5%) y compuestos solubilizados en NaOH al 1% (26%). La lignina y los polisacáridos se encontraron en una proporción similar entre 20 y 26%. El análisis por GC del monosacárido mostró aproximadamente 60% de glucosa y 40% de manosa. Los componentes principales en los extractivos lipofílicos son ácidos grasos libres ( $> 60\%$ ) del cual más del 30% fue identificado como ácido n-hexadecanoico. Los polifenoles y taninos totales representan  $< 6\%$  y  $< 4\%$  de los residuos de café, respectivamente. Las asignaciones de las bandas de los espectros FTIR obtenidos confirman la presencia de lípidos, polisacáridos y ácido clorogénico. Los residuos de café (afrecho) mostraron características para varias aplicaciones potenciales, como la producción de biodiesel, como fuente de antioxidantes y como un bioadsorbente de contaminantes hidrofóbicos (Pujol, D.; Liu, C.; Gominho, J.; Olivella, M.; Fiol, N.; Villaescusa, I. & Pereira, H., 2013).

La lignina, puede tener aplicaciones directas, como las presentadas por los ligno-sulfonatos, compuestos no peligrosos que poseen aplicaciones como dispersantes de pesticidas, emulsificantes y secuestradores de metales pesados. Otra posible aplicación de la lignina es como un precursor para la producción de carbón activado. De hecho, como la lignina tiene un alto contenido de carbono y una estructura molecular similar al carbón bituminoso podría ser un precursor ideal. Carrot y col. presentan una revisión donde examinan la química y propiedades texturales de carbones activados producidos a partir de lignina. Estos autores reportan que en condiciones apropiadas de activación es posible obtener materiales con áreas superficiales y volúmenes de poro aproximados a  $2.000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  y  $1 \text{ gcm}^{-3}$ , respectivamente; estos materiales tienen una capacidad para la adsorción en fase acuosa de contaminantes metálicos comparable a la de carbones activados comerciales (Suhás & Ribeiro, 2007). La lignina es un biopolímero presente en los residuos de café (afrecho), lo cual explica la capacidad de adsorción de este residuo orgánico. Una alta densidad electrónica en la molécula permite incrementar la capacidad máxima de adsorción y los grupos hidroxilos, carbonilos y carboxílicos son los grupos funcionales que mayor relación tienen con la afinidad de la lignina hacia los iones metálicos. La adsorción de metales sobre la lignina no solo depende de su estructura porosa sino de la cantidad de grupos oxigenados en la superficie lo que origina una carga distribuida, siendo estas modificaciones las que incrementan el carácter ácido u oxidan la molécula que mejoran la capacidad de adsorción (Gomez, V.; Velásquez, J. y Quintana, G., 2013).

Los residuos de café (afrecho) se caracterizó determinando el contenido de humedad, cenizas, grasas totales, nitrógeno, minerales, azúcares reductores por el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) recomendado por Miller, utilizando glucosa como estándar a 550 nm, azúcares totales por el método del Dubois et al. con sacarosa como estándar a 490 nm y el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina siguiendo la metodología de Goering y Van Soest (Urribarrí, Zabala, Sánchez, Arenas, Chandler, Rincón, González, & Mazzarri, 2014). También “se identificaron los ácidos clorogénico, isoclorigénico y feruloilquínico como los principales componentes ácidos” (Puertas, Villegas y Rojano, 2013). El conocimiento de la composición química conducirá a una mejor comprensión de la aplicación de este residuo orgánico, la siguiente tabla muestra la composición de los residuos sólidos de café (afrecho).

Tabla 1  
*Composición de los residuos sólidos de café (afrecho).*

PARÁMETRO	PORCENTAJE (%) <sup>1</sup>
Humedad	10.49±0.09
Materia seca	89.51±0.09
Cenizas	1.81±0.05
Nitrógeno	1.88±0.05
Proteína cruda	11.72±0.28
Grasas	13.41±0.25
Azúcares totales (g/g)	39.62±0.69
Azúcares reductores (mg/g)	11.35±0.27
Celulosa	28.05
Hemicelulosa	18.83
Lignina	16.21
Solubles	35.29
Contenido de minerales <sup>2</sup>	
Calcio	0.174
Magnesio	0.138
Fósforo	0.132
Sodio	0.036
Potasio	0.339
Zinc (ppm Zn)	96.09
Manganeso (ppm Mn)	43.266
Cobre (ppm Cu)	8.879
Hierro (ppm Fe)	75.419

Nota: 1Valores promedios (base seca) del análisis de tres muestras de borra de café ± 1 desviación estándar. 2Análisis de minerales realizados en la Facultad de Agronomía, de la Universidad del Zulia. Fuente: Adaptado de Urribarrí, Zabala, Sánchez, Arenas, Chandler, Rincón, González, & Mazzarri, (2014).

# CAPÍTULO II

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Muestra**

1.5 litros de agua del pozo subterráneo del distrito de Mórrope, que abastece al Centro Poblado de Cruz del Médano.

2 kilos de afrecho de café preparado por los autores.

### **2.2 Materiales, equipos y reactivos**

#### **a. Materiales**

- 1 balón de 1.5 L.
- 8 matraces Erlenmeyer.
- 2 vasos de precipitado.
- 8 embudos.
- 2 pipetas de 5 ml.
- 2 termómetros.
- 2 pisetas.
- 8 papeles filtros Whatman # 42.
- 7 tiras de papel de pH.
- 14 pares de guantes.
- 8 frascos de vidrio.
- 1 cinta masking tape.

#### **b. Equipos**

- Estufa.
- Balanza analítica.
- Cocina con agitador magnético.
- Espectrómetro Teledyne Prodigy 7 (ICP-OES).

#### **c. Reactivos**

- Agua destilada.
- Agua regia.

### 2.3 Instrumentos de recolección de datos

- Cuaderno de registro de datos.
- Hoja de cálculo (Excel).

### 2.4 Procedimiento

La investigación fue de carácter experimental y la población fue constituida por 2 pozos subterráneos donde los laboratorios de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque - EPSEL S.A y el Instituto Nacional de Calidad - INACAL certificaron la presencia de arsénico en dichos pozos que están instalados dentro del perímetro del distrito de Mórrope. En el cálculo del tamaño de muestra, siendo el universo pequeño (2 pozos) se selecciona 1 pozo por conveniencia, el pozo seleccionado ha sido el que abastece al Centro Poblado de Cruz del Médano.

El trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y en el laboratorio de la Facultad de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo.

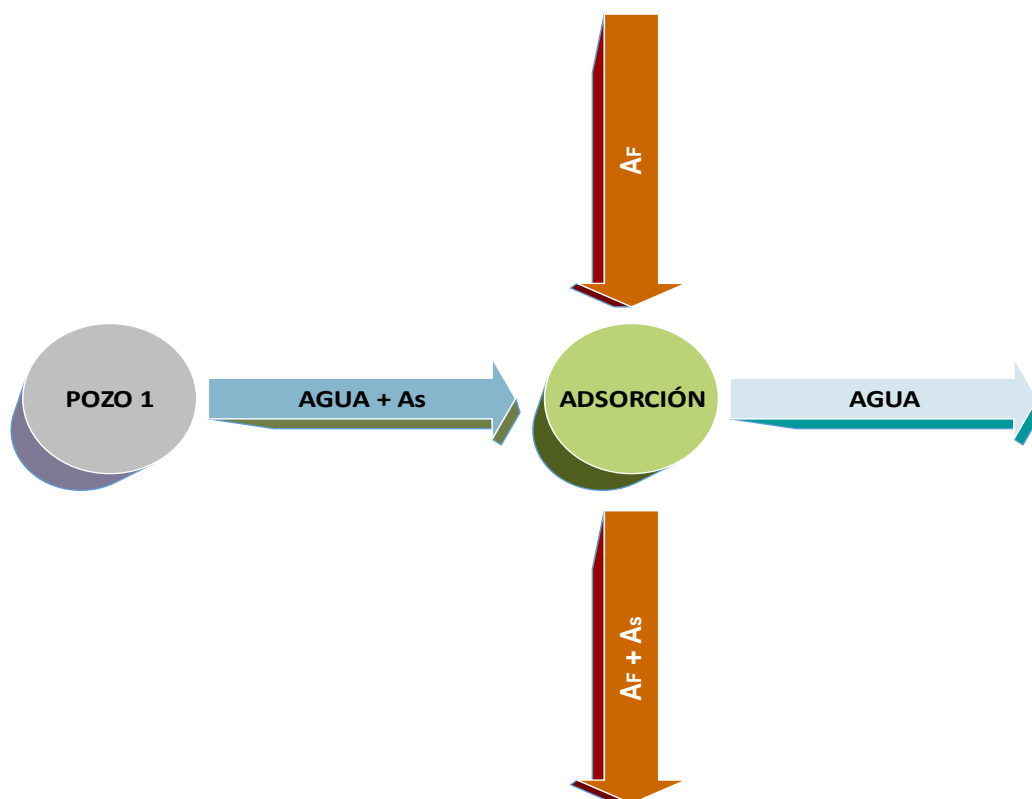
Se recogió una muestra de 1.5 litros de agua del pozo subterráneo del distrito de Mórrope que abastece al Centro Poblado de Cruz del Médano (después de una tormentosa lluvia por la noche en Mórrope al día siguiente en la mañana fue tomada la muestra de agua del pozo) y 2 kilos de afrecho de café preparado por los autores. Se acondicionó el afrecho de café lavándolo 3 veces con agua destilada, se sometió a un tratamiento térmico a una temperatura de 100°C. por 24 horas, se pesó 7 muestras con cantidades diferentes de afrecho de café (1g, 2g, 3g, 4g, 5g, 10g, 15g) para la experimentación. Se prepararon 8 muestras de 250 ml. cada una del agua contaminada con arsénico en matraces Erlenmeyer de 300 ml. (7 muestras para la experimentación y 1 muestra en blanco para determinación de arsénico antes de la adsorción). A cada uno de los 7 matraces se añadió las 7 muestras de afrecho de café en las cantidades señaladas anteriormente.

Los matraces fueron calentados a 30°C durante 90 minutos y agitación continua, utilizando una cocina eléctrica de plato y agitador magnético. Terminada esta operación, se filtró cada una de las muestras y el filtrado se recibió en botellas de vidrio transparentes de 280 cc. de capacidad,

previamente esterilizadas. Estas muestras, incluida la muestra en blanco, fueron trasladadas al Laboratorio de la Facultad de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo para la determinación de presencia de arsénico.

El análisis se realizó por Espectroscopia de Emisión con fuente de Plasma de acoplamiento Inductivo (ICP). Se realizaron 8 análisis cuyos resultados se muestran en la tabla 2. La fase experimental tuvo una duración efectiva de 02 semanas, entre los meses de Octubre y Noviembre del 2018.

#### 2.4.1 Técnicas de experimentación



*Figura 4.* Diseño de la experimentación. Elaboración propia.

$A_F$  = Afrecho de café.

$As$  = Arsénico.

Las operaciones realizadas en la investigación fueron las siguientes:



- Recolección de residuos de café (afrecho) preparado por los autores.



Figura 5. Afrecho de café para la experimentación. Elaboración propia.

- Preparación del afrecho de café para la experimentación.



Figura 6. Tratamiento del afrecho de café para antes de la adsorción. Elaboración propia.

- Residuos de café (afrecho) preparado y recolectado por los autores.
- Lavado del afrecho de café con agua destilada por 3 veces consecutivas.
- Escurreido del afrecho de café previamente lavado.
- Esparcido del afrecho de café en bandejas de cartón para su posterior tratamiento.
- Colocación de las bandejas de cartón con afrecho de café en la estufa.
- Tratamiento térmico a 100°C por 24 horas.

- Ejecución del proceso de adsorción de arsénico con las muestras de café (afrecho) previamente preparado.

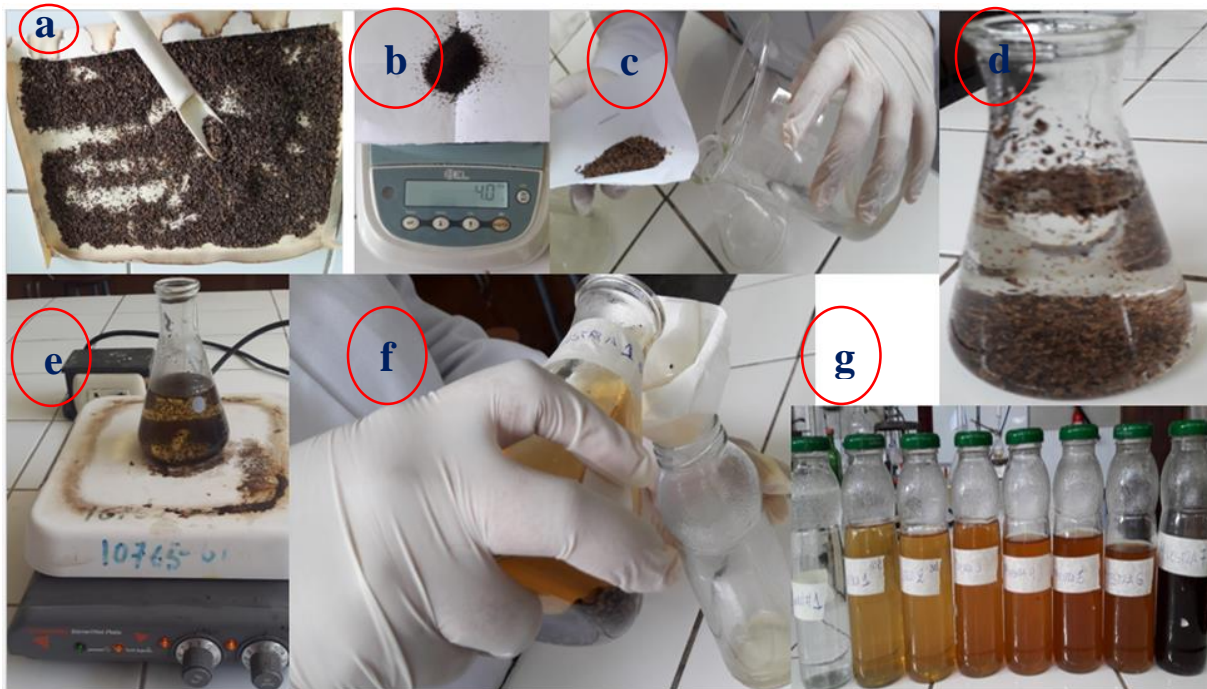


Figura 7. Proceso de adsorción de arsénico con residuos sólidos de café (afrecho). Elaboración propia.

- (a) Residuos de café (afrecho) seco después de 24 horas en la estufa.
- (b) Pesado del afrecho de café para el experimento (1g, 2g, 3g, 4g, 5g, 10g, 15g).
- (c) Mezclado del afrecho de café con el agua contaminada con arsénico.
- (d) Agitación del afrecho de café disuelto en agua contaminada.
- (e) Agitación de la muestra anterior a 30°C durante 90 minutos.
- (f) Filtración y envasado de muestras de agua con supuesto arsénico adsorbido.
- (g) Muestras obtenidas para ser analizadas en contenido de arsénico.

- Determinar analíticamente la cantidad de arsénico presente en agua antes y después del proceso de adsorción.



*Figura 8. Proceso de adsorción de arsénico con residuos sólidos de café (afrecho). Elaboración propia.*

- La metodología aplicada para la utilización del equipo de Espectroscopia de Emisión con fuente de Plasma de acoplamiento Inductivo (ICP) es la siguiente:

- ✓ Filtrar la solución muestra.
- ✓ Tomar una alícuota de 5 ml de solución muestra.
- ✓ Agregar 2.5 ml de agua regia.
- ✓ Colocar en baño maría por 15 min.
- ✓ Aforar a 10 ml con agua destilada.
- ✓ Calibrar equipo ICP-OES con curva de As, marca Teledyne.
- ✓ Leer las muestras de solución.



- Calentamiento de las muestras previo a la aplicación de la técnica de Espectroscopia de Emisión con fuente de Plasma de acoplamiento Inductivo (ICP) para determinar arsénico.



*Figura 9.* Calentamiento de las muestras de agua previo a la aplicación de la técnica ICP. Elaboración propia.

- Análisis de espectroscopía de las muestras en el equipo ICP-OES.



*Figura 10.* Lectura de las muestras de agua después del proceso de adsorción en el equipo ICP-OES. Elaboración propia.

# CAPÍTULO III

### III. RESULTADOS

Las 8 muestras analizadas en el laboratorio de la Facultad de Metalurgia en la Universidad Nacional de Trujillo, aplicando la técnica de Espectroscopia de Emisión con fuente de Plasma de acoplamiento Inductivo (ICP) reportó los siguientes resultados:

Tabla 2

*Adsorción de arsénico (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho).*

Muestra	H2O pozo N°1 (ml.)	Afrecho de café (g.)	As presente (mg/l)	Adsorción (mg/l)
M BLANCO	250	0	0.25	0
M1	250	1	0.20	0.05
M2	250	2	0.19	0.06
M3	250	3	0.16	0.09
M4	250	4	0.21	0.04
M5	250	5	0.22	0.03
M6	250	10	0.24	0.01
M7	250	15	0.24	0.01

*Fuente:* Elaboración propia.

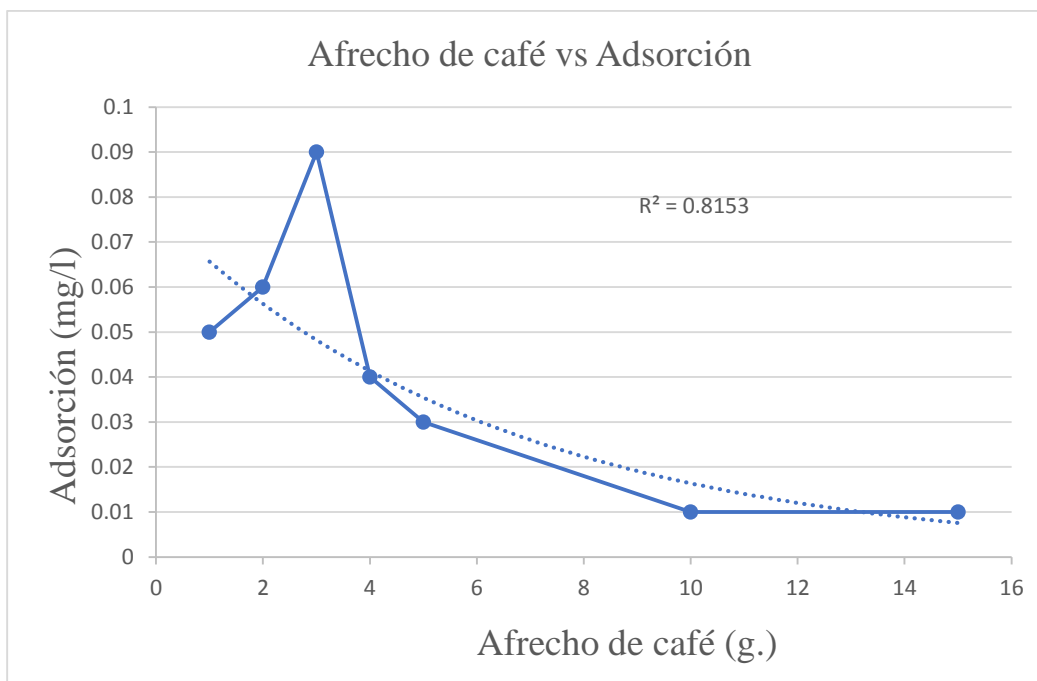


Figura 11. Adsorción de arsénico (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). Elaboración propia.

- Se determinó por la técnica del ICP que la muestra en blanco (muestra en la que no se efectuó el proceso experimental de adsorción) contiene 0.25 mg/l de arsénico.
- En la figura 11 se puede observar que al empezar la experimentación con 1g. de afrecho de café la adsorción es mínima, pero al aumentar a 2g. y a 3g. de afrecho de café se observa una mayor adsorción. Sin embargo si seguimos aumentando la cantidad de afrecho de café, disminuye la adsorción y permanece constante a partir de los 10g. de afrecho de café utilizado.
- Esto significa que una dosis máxima de 3g. por 250 ml. de agua contaminada podría ser lo recomendable para la adsorción de arsénico, sin embargo se puede afirmar que la capacidad de adsorción del afrecho residual de café es mínima, esto equivale a una adsorción máxima del 36%, y no asegura una adsorción total.

### 3.1 Análisis estadístico de resultados.

Tabla 3

*Análisis de datos estadísticos en QI Macros 2018.*

VARIABLES ESTADISTICAS	
INTERVALO DE CONFIANZA	95%
P	< 0.05
$\alpha$	0.05

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla 4

*Descripción del primer modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0.*

Descripción del modelo		
Nombre de modelo		MOD_3
Variable dependiente	1	As presente (mg/l)
Ecuación	1	Cúbico
Variable independiente		Afrecho de café (g.)
Constante		Incluido
Variable cuyos valores etiquetan las observaciones en los gráficos		Sin especificar
Tolerancia para entrar términos en ecuaciones		0.0001

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla 5

*Resumen del primer modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0.*

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
0.784	0.615	0.326	0.025

*Fuente:* Elaboración propia.

Se ha encontrado una correlación positiva considerable entre la cantidad de arsénico en agua y la cantidad de afrecho vertido en el agua  $R=0.784$  y de acuerdo al coeficiente de determinación el 61,5% de la variabilidad en la cantidad de arsénico en agua es explicada por la cantidad de afrecho de café en agua  $R^2 = 61,5\%$ .

Tabla 6

*Coefficientes del primer modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0.*

	Coeficientes				
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
Afrecho de café (g.)	-0.027	0.014	-4.593	-1.937	0.125
Afrecho de café (g.) ** 2	0.005	0.002	13.127	2.058	0.109
Afrecho de café (g.) ** 3	-0.000212	0.000	-8.305	-1.918	0.128
(Constante)	0.234	0.021		11.213	0.000

*Fuente:* Elaboración propia.

El modelo es  $Y = 0,234 - 0,027X + 0,005X^2 - 0,000212X^3$ .



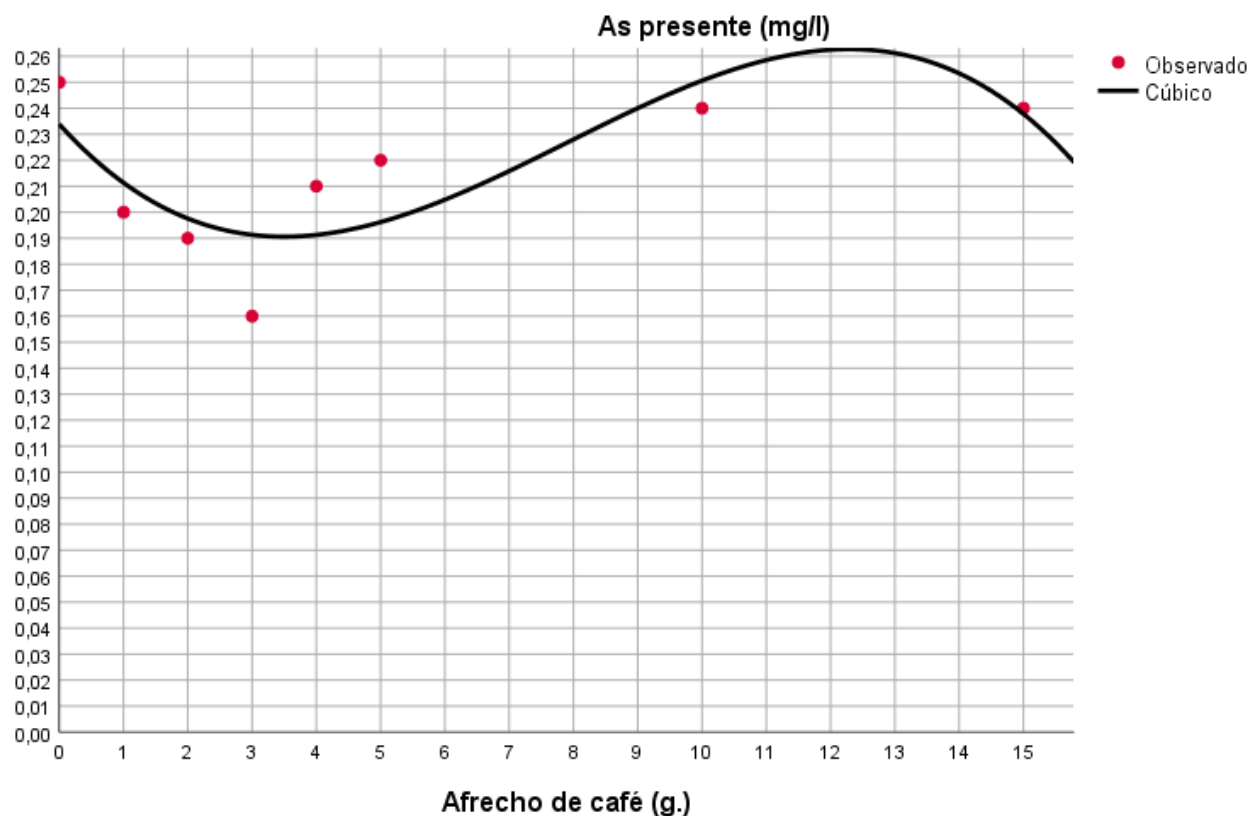


Figura 12. Arsénico presente (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). Elaboración propia.

Tabla 7

Descripción del segundo modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0.

Descripción del modelo		
Nombre de modelo		MOD_5
Variable dependiente	1	Adsorción
Ecuación	1	Cúbico
Variable independiente		Afrecho de café (g.)
Constante		Incluido
Variable cuyos valores etiquetan las observaciones en los gráficos		Sin especificar
Tolerancia para entrar términos en ecuaciones		0.0001

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

*Resumen del segundo modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0.*

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
0.784	0.615	0.326	0.025

*Fuente:* Elaboración propia.

Se ha encontrado una correlación positiva considerable entre la capacidad de adsorción de arsénico en agua y la cantidad de afrecho vertido en el agua  $R = 0.784^{**}$  y de acuerdo al coeficiente de determinación el 61,5% de la variabilidad en la adsorción de arsénico en agua es explicada por la cantidad de afrecho de café en agua,  $R^2 = 61,5\%$ .

Tabla 9

*Coefficientes del segundo modelo utilizado en IBM SPSS Statistics 25.0.*

	Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados	Coeficientes estandarizados				
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	
Afrecho de café (g.)	0.027	0.014	4.593	1.937	0.125	
Afrecho de café (g.) ** 2	-0.005	0.002	-13.127	-2.058	0.109	
Afrecho de café (g.) ** 3	0.000	0.000	8.305	1.918	0.128	
(Constante)	0.016	0.021		0.773	0.483	

*Fuente:* Elaboración propia.

El modelo es  $Y = 0,016 + 0,027X - 0,005X^2 + 0,000212X^3$ .

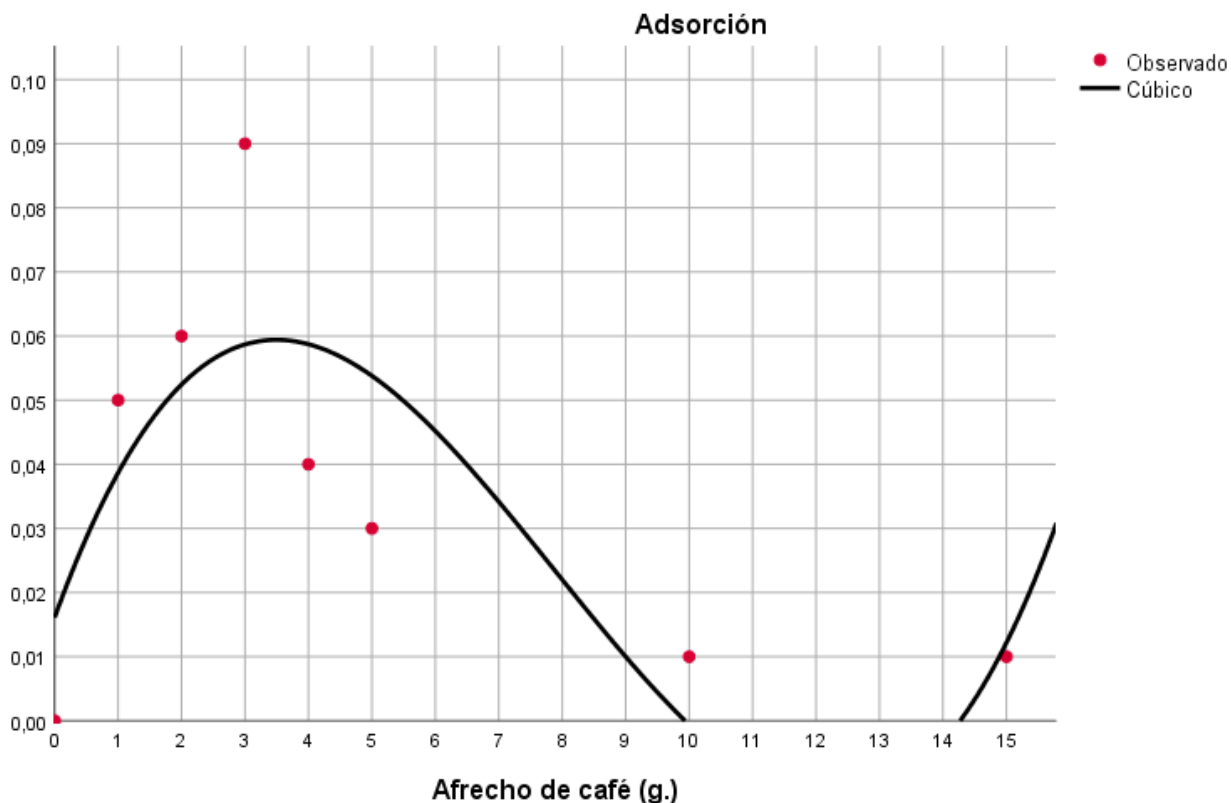


Figura 13. Adsorción (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). Elaboración propia.

Tabla 10

Prueba para contrastar hipótesis utilizando el IBM SPSS Statistics 25.0.

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 0.25						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
As presente (mg/l)	-3.841	6	0.009	-0.04143	-0.0678	-0.0150

Fuente: Elaboración propia.

La reducción de arsénico en promedio fue de 0,0414 y con un 95% de confianza se puede afirmar que la reducción promedio fue de -0.0678 y -0,0150. En cuanto a la contrastación de hipótesis, se rechaza la hipótesis nula, es decir, la cantidad de arsénico presente (mg/l) es menor a 0.25.

Tabla 11

Prueba para contrastación de hipótesis utilizando IBM SPSS Statistics 25.0.

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 0						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Adsorción	3.841	6	0.009	0.04143	0.0150	0.0678

Fuente: Elaboración propia.

La adsorción de arsénico en promedio fue de 0,0414 y con un 95% de confianza se puede afirmar que la reducción promedio fue de 0,015 y 0,0678. En cuanto a la contrastación de hipótesis, se rechaza la hipótesis nula, es decir, la adsorción de arsénico presente (mg/l) es mayor a 0.

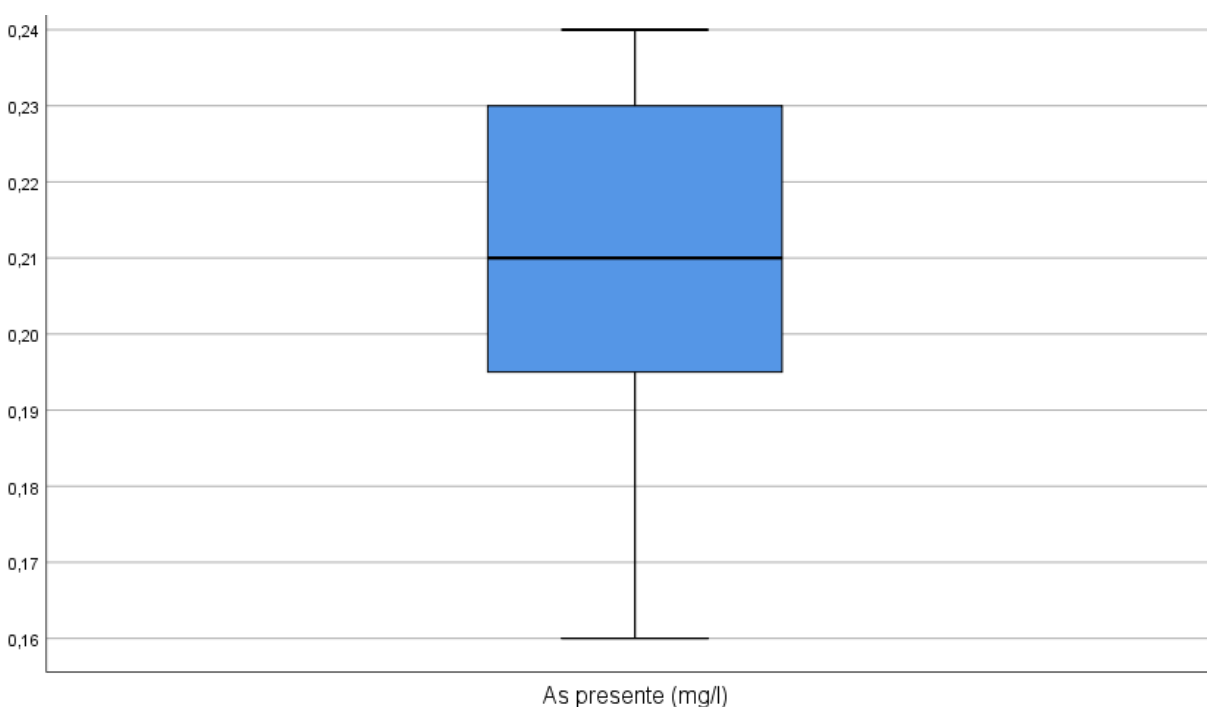
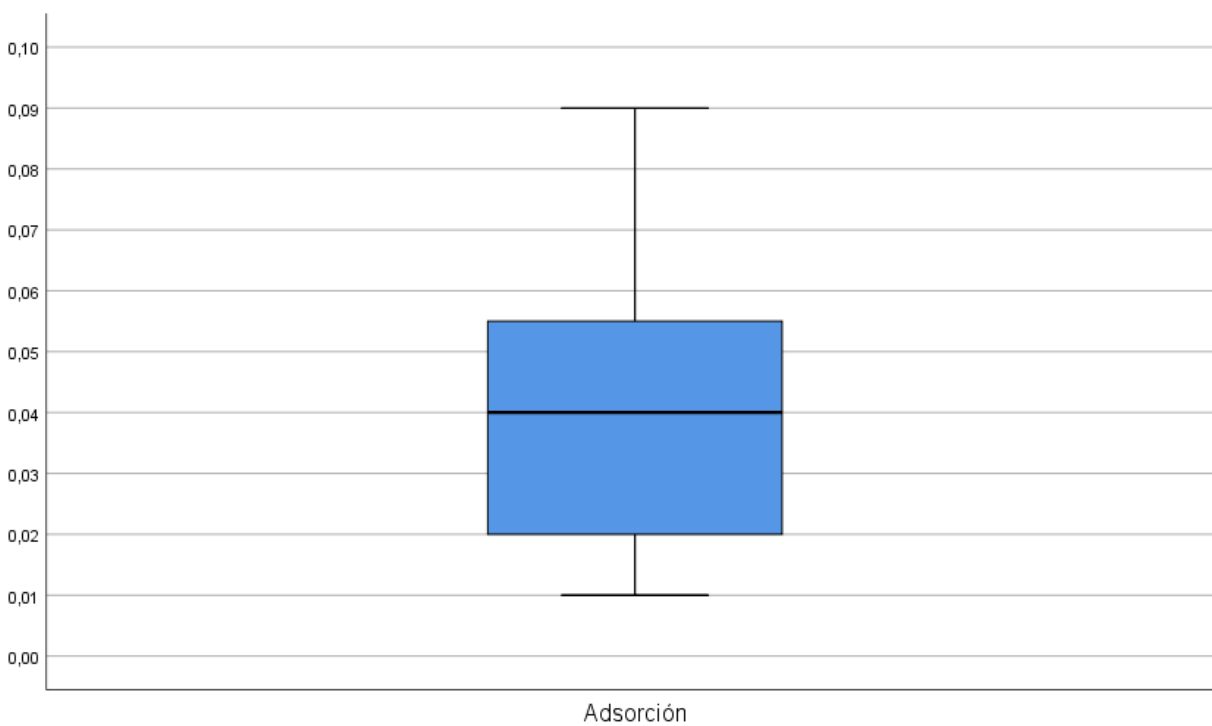


Figura 14. Arsénico presente (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). Elaboración propia.

La cantidad mínima de arsénico presente fue de 0.16 mg/l, la mediana fue 0.21 mg/l y la cantidad máxima 0.24 mg/l.



*Figura 15.* Capacidades de adsorción (mg/l) utilizando diferentes cantidades de residuos de café (afrecho). Elaboración propia.

La cantidad mínima de adsorción fue de 0.01 mg/l, la mediana fue 0.004 mg/l y la cantidad máxima fue de 0.09 mg/l.

# CAPÍTULO IV

#### **IV.DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Los resultados muestran una capacidad de adsorción de 0.09 mg de arsénico por litro de agua contaminada por 12g. de residuos de café utilizado. Este resultado difiere de los resultados obtenidos por los autores Gnu Nam, Min-su Kim, Namju Lee, Young-Hoon Choi y Ji Whan Ahn quienes obtuvieron una adsorción de 6.44 mg/l por 1g. de café utilizado. Sin embargo cabe resaltar que los residuos de café utilizados en esa investigación fueron provenientes de pozos de dos grandes compañías de café en Corea del Sur que acumulan sus residuos de café. Éstos estarían sujetos a procesos de contaminación y fermentación ambiental lo cual pudo darles otra característica a los residuos de café, mientras que la presente investigación utilizó residuos de café (afrecho) recientemente preparados.

Las condiciones de las muestras de agua en Corea del Sur fueron con agua destilada y diferentes concentraciones de arsénico, mientras que las condiciones en la presente investigación fueron diferentes ya que se desconoce la presencia de otros elementos químicos presentes en el agua contaminada que puedan interferir en la adsorción de arsénico por los residuos de café.

Las condiciones de temperatura y agitación en la metodología utilizada fueron idénticas al estudio que realizaron Gnu Nam, Min-su Kim, Namju Lee, Young-Hoon Choi y Ji Whan Ahn, excepto del equipo utilizado, sin embargo los resultados obtenidos con diferentes dosis de residuos de café muestran una curva de distribución de puntos que ha sido suavizada con una curva exponencial que tiene un índice de regresión de 0.82 lo cual válida los datos obtenidos.

# CAPÍTULO V



## V. CONCLUSIONES

- Los residuos sólidos de café (afrecho) fueron preparados pesando muestras de 1g, 2g, 3g, 4g, 5g, 10g. y 15g. que previamente fueron lavados 3 veces con agua destilada y secados a 100°C por 24 horas. La adsorción experimental se realizó añadiendo al agua contaminada con arsénico contenida en Erlenmeyer de 250 ml, cada una de las muestras de afrecho de café pesados y secados previamente.
- Se aplicó la técnica de Espectroscopía de Emisión con fuente de Plasma de acoplamiento Inductivo (ICP) utilizando un espectrómetro Teledyne Prodigy 7 (ICP-OES) del laboratorio de análisis de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de Trujillo.
- Se determinó que el café residual (afrecho) adsorbe 0.09 mg/l de arsénico por cada 12 gramos de café residual (afrecho) utilizado. Sin embargo se puede afirmar que la capacidad de adsorción del afrecho residual de café es mínima, esto equivale a una adsorción máxima del 36%, y no asegura una adsorción total.

# **RECOMENDACIONES**

## **VI.RECOMENDACIONES**

- Ensayar pruebas experimentales con afrecho de café almacenado por varios periodos de tiempo y fermentado, para determinar si se presentan cambios en la adsorción de arsénico.
- Hacer una investigación con afrecho de café seco y calcinado a punto de carbón y determinar su capacidad de adsorción.
- Desarrollar nuevos ensayos de determinación de adsorción de arsénico con residuos de café (afrecho) utilizando rangos de temperatura entre 40°C y 60°C buscando mejores resultados y comparar.
- Realizar pruebas experimentales con afrecho de café provenientes de distintas fuentes de recolección y tomar medida del tamaño de poro para determinar si hay cambios de adsorción.
- Se recomienda estudiar la presencia de otros metales diferentes al arsénico en las aguas del pozo de Mórrope que puedan haber interferido el proceso de adsorción con residuos de café.

# REFERENCIAS

## VII. REFERENCIAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR]. (2005). *Reseña Tóxicologica del Arsénico*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs2.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html)
- Altomayo Perú SAC. (2017). *Café Liofilizado*. Recuperado de <http://www.cafealtomayo.com/actualidad/que-es-el-cafe-liofilizado/>
- Apaza, R., y Calcina, M. (2014). Contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno. *Altoandin*, 16(1), 51-58. Recuperado de <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/article/view/35/30>
- Arce, R. (2013). Opciones tecnológicas para la eliminación de arsénico dentro del proceso de potabilización del agua: revisión bibliográfica y análisis bibliométrico. España: Universidad de Cantabria.
- Ashby y Jones. (2006). *Materiales para Ingeniería 2*. Recuperado de [https://kupdf.net/download/materiales-para-ingenieria\\_59ee06c008bbc529709d18b3\\_pdf](https://kupdf.net/download/materiales-para-ingenieria_59ee06c008bbc529709d18b3_pdf)
- Benítez, R., Álvarez, J., Dahbar, M., Rivero, S., y Titto, E. (2012). *Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) Módulo: Abatimiento de Arsénico*. Recuperado de [http://www.msal.gob.ar/images/stories/bes/graficos/0000000339cnt-10-Abatimiento\\_arsenico.pdf](http://www.msal.gob.ar/images/stories/bes/graficos/0000000339cnt-10-Abatimiento_arsenico.pdf)
- Bernhard, M., Brinckman, F., y Sadler, P. (1986). *The Importance of Chemical "Speciation" in Environmental Processes*. doi:10.1007/978-3-642-70441-3
- Centro de Operaciones de Emergencia Nacional. (2018). *Contaminación por arsénico en el agua subterránea afecta al distrito de Mórrope – Lambayeque*. Recuperado de <https://www.indeci.gob.pe/objetos/alerta/Mjk5OQ==/20181012172844.pdf>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2016). Manejo de subproductos. *Cenicafé*, 3(1), 9-11. Recuperado de [https://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos\\_cafe/manejo\\_de\\_subproductos/cultivemos\\_cafe\\_manejo\\_de\\_subproductos](https://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/manejo_de_subproductos/cultivemos_cafe_manejo_de_subproductos)
- Cheremisinoff, N. (2002). *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. Recuperado de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/2001\\_NicholasPCheremisinoff\\_HandbookofWaterandWastewaterTreatmentTechnologiesFirstEdition%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/2001_NicholasPCheremisinoff_HandbookofWaterandWastewaterTreatmentTechnologiesFirstEdition%20(1).pdf)

- Deekshitha, J., Kavya, M., Pooja, P., Nandini, C., y Shilpa, S. (2016). Arsenic [As (III)] Removal Using Almond Shells. *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering (IJCRCE)*, 2(3), 16-23. Recuperado de <https://www.arcjournals.org/pdfs/ijcrce/v2-i3/3.pdf>
- Departamento de Geología. (2017). *Contaminación de las aguas subterráneas*. Universidad de Salamanca. Recuperado de <http://hidrologia.usal.es>.
- Figuerola, E. (2013). Evaluación de una planta piloto de remoción de arsénico por adsorción mediante un medio agaroso. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile. .
- Galindo, R. (2011). Producción e Industrialización de Café Soluble Caso: Solubles Instantáneos. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- García, A., y Riaño, E. (1999). Extracción de celulosa a partir de la borra de café. *Cenicafé*, 50(3), 205-214. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050%2803%29205-214.pdf>
- Gnu Nam, Min-su Kim, Namju Lee, Young-Hoon Choi & Ji Whan Ahn. (2017). An Environmentally Benign Approach for As (V) Absorption from Wastewater Using Untreated Coffee Grounds—Preliminary Results. *MDPI*, 9(11), 867. doi:10.3390/w9110867
- Gomez, V.; Velásquez, J. y Quintana, G. (2013). LIGNINA COMO ADSORBENTE DE METALES PESADOS. *Investigaciones Aplicadas*, 7(2), 74-85. doi:2011-0413
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2008). *Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada*. Recuperado de <http://www.zeocat.es/docs/aguaarsenico2.pdf>.
- International Centre for Diarrhoeal Disease Research, Bangladesh. (2006). Arsenic Contamination in Groundwater: A Global Perspective with Emphasis on the Asian Scenario. *Journal of Health, Population and Nutrition (JHPN)*, 24(2), 142-163. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/6604366\\_Arsenic\\_Contamination\\_in\\_Groundwater\\_A\\_Global\\_Perspective\\_with\\_Emphasis\\_on\\_the\\_Asian\\_Scenario](https://www.researchgate.net/publication/6604366_Arsenic_Contamination_in_Groundwater_A_Global_Perspective_with_Emphasis_on_the_Asian_Scenario)
- Leyva, R. (2011). Remoción de arsénico en aguas: Fundamentos de adsorción. México.: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- López, D. (2014). Composición química y nutracéutica del residuo sólido del café (*Coffea arabica* L) utilizado y la actividad de los productos de su fermentación colónica in vitro en un

- modelo inflamación. Santiago de Querétano, México: Universidad Autónoma de Querétano.
- M., Cipriano. (2016). *Remoción de arsénico en el agua para bebida mediante un proceso de adsorción continua con goethita en el manantial Puncumachay del distrito de Curimarca, provincia de Jauja*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Mamani, E., Chambilla, B. (2008). Análisis fisicoquímico y biológico del agua para consumo humano en el distrito de Huanuara. *Ciencia y Desarrollo*, 2(1), 67-70. Recuperado de <http://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/CYD/article/view/202/178>
- Marka, A., & Torres G. (2015). Control analítico y tratamiento de Contaminantes metálicos arsénico y plomo Mediante una columna de adsorción en la Fabricación de plásticos a base de PVC-U. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Meza, F. (2017). Estudio de la adsorción de arsénico presente en soluciones acuosas empleando materiales adsorbentes a base de quitosano modificado. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Murthy, P., y Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by products and value addition-A review. *Resources, Conservation and Recycling.*, 66(1), 45-58. doi:10.1016/j.resconrec.2012.06.005
- Mussatto, S., Carneiro, L., Silva, J., Roberto, I., y Teixeira, J. (2011). A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers.*, 83(1), 368-374. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1029.3306&rep=rep1&type=pdf>
- National Institute of Hydrology, Roorkee. (2009). *Groundwater Arsenic Contamination in India: Vulnerability and Scope for Remedy*. Uttarakhand. Recuperado de <http://cgwb.gov.in/documents/papers/incidpapers/paper%208%20-%20ghosh.pdf>
- Ordóñez, J. J. (2011). *Aguas subterráneas-acuíferos*. Recuperado de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/aguas\\_subterraneas.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneas.pdf)
- Paredes, J. (2012). Remoción de arsénico del agua para uso y consumo humano mediante diferentes materiales de adsorción. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Pérez, Boochs, Billib, Wessels y Fernández. (Octubre de 2010). Distribución de arsénico en agua superficial y subterránea en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Córdoba. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/277956072\\_Distribucion\\_de\\_arsenico\\_en\\_agua\\_superficial\\_y\\_subterranea\\_en\\_el\\_sudeste\\_de\\_la\\_provincia\\_de\\_Cordoba\\_Argentina](https://www.researchgate.net/publication/277956072_Distribucion_de_arsenico_en_agua_superficial_y_subterranea_en_el_sudeste_de_la_provincia_de_Cordoba_Argentina)
- Puertas, M., Villegas, P., y Rojano, B. (2013). Borra de café colombiano (*Coffea arábica*) como fuente potencial de sustancias con capacidad antirradicales libres in vitro. *Revista Cubana de Plantas Medicinales.*, 18(3), 1-11. Recuperado de <http://www.revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/rt/printerFriendly/14/28>
- Pujol, D .;Liu, C .;Gominho, J .;Olivella, M. À. ;Fiol, N. ;Villaescusa, I & Pereira, H. (2013). The chemical composition of exhausted coffee waste. *Industrial Crops and Products.*, 50, 423-429. doi:10.1016 / j.indcrop.2013.07.056.
- Rahman, A., Mohammad, A., Samad, A., y Abdul, A. (2008). Removal of Arsenic with Oyster Shell: Experimental Measurements. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 9(2), 69-77. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/27230931.pdf>
- Ramalakshmi, K., Rao, L., Takono-Ishikawa, Y., y Goto, M. (2009). Bioactivities of low grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. *Food Chemistry*, 115(1), 79-85. doi:10.1016/j.foodchem.2008.11.063
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., y González E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo.*, 16(2), 66-77. Recuperado de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-ContaminacionPorMetalesPesados-6096110%20\(7\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-ContaminacionPorMetalesPesados-6096110%20(7).pdf)
- Robin Westergren. (2006). Arsenic removal using biosorption with Chitosan . Estocolmo, Suecia: Royal Institute Of Technology.
- Salomons, W. (1995). Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention. *Journal of Geochemical Exploration.*, 52(2), 5-23. Recuperado de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/EnvironmentalimpactofmetalsderivedfromMining%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/EnvironmentalimpactofmetalsderivedfromMining%20(1).pdf)
- Salomons, W., y Förstner, U. (1984). *Metals in the hydrocycle*. doi:10.1007/978-3-642-69325-0



- Sánchez, J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Recuperado de [https://www.amazon.es/Hidrolog%C3%ADa-Superficial-Subterr%C3%A1nea-Javier-S%C3%A1nchez/dp/1975606604/ref=sr\\_1\\_2?s=books&ie=UTF8&qid=1505385903&sr=1-2](https://www.amazon.es/Hidrolog%C3%ADa-Superficial-Subterr%C3%A1nea-Javier-S%C3%A1nchez/dp/1975606604/ref=sr_1_2?s=books&ie=UTF8&qid=1505385903&sr=1-2)
- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292702000185>
- Tapia, L. (2017). Evaluación de Arsénico con Chacko (Hidralgiritita) en Aguas Subterráneas Contaminadas del Distrito de Taraco – Puno. Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Trelles, J. (2013). Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Universidad Iberoamericana A.C. (2003). *Remoción de metales pesados (Cu+2) en aguas contaminadas, utilizando lana de borrego*. Recuperado de [https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria115\\_01\\_remocion\\_de\\_metales\\_pesados\\_cu2\\_en\\_aguas\\_contamina.pdf](https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria115_01_remocion_de_metales_pesados_cu2_en_aguas_contamina.pdf)
- Urribarri, Zabala, Sánchez, Arenas, Chandler, Rincón, González, & Mazzarri. (2014). Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel. *Multiciencias*, 14(2), 122-131.
- World Health Organization. (2000). *Contamination of drinking-water by arsenic*. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2560840/pdf/11019458.pdf>

# ANEXOS

## VIII. ANEXOS

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
**LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES**



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO**

Solicitado por	RUIZ CACHAY JESSY JARET Y GOICOCHEA NUÑEZ
Código de muestra	ABRAHAM
Muestras recibidas	Solución
Asunto	8
Características y condiciones	Análisis Químico
Fecha de recepción	Botella de vidrio
	14/11/2018

Método ICP-OES	
Elemento	As
Unidades	(mg/L)
Blanco	0.25
N1	0.22
N2	0.21
N3	0.2
N4	0.16
N5	0.24
N6	0.24
N7	0.19

Método de ensayo: ICP-OES

Fecha de emisión de reporte: viernes 16 de noviembre de 2018

  
 Ing. Juan Vega González  
 Jefe de Laboratorio  
 CIP 79515

Ciudad Universitaria Av. Juan Pablo II S/N Urb. San Andrés Telf. 208295

Figura 16. Certificado de análisis químico de las muestras de la experimentación. Elaboración propia.

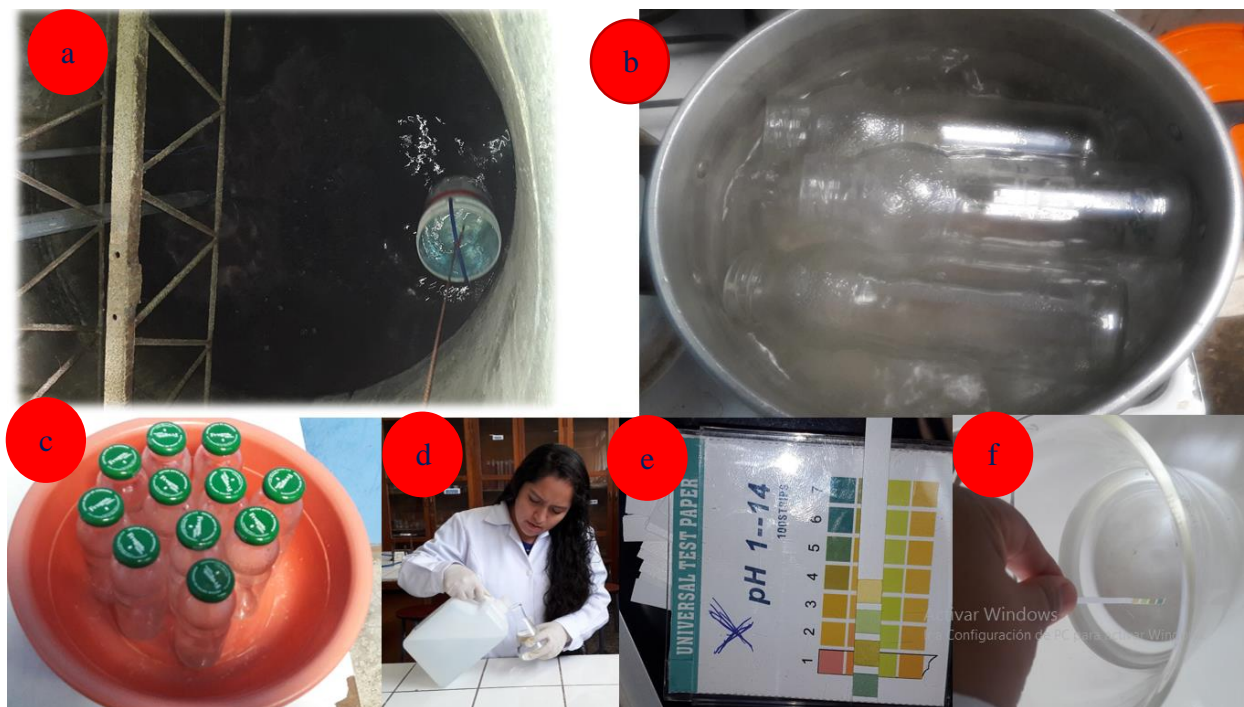


Figura 17. Proceso de recolección de muestra de agua contaminada. Elaboración propia.

- (a) Recolección del agua contaminada con arsénico del pozo que abastece al centro poblado del Cruz del Médano.
- (b) Esterilización de frascos para las muestras experimentales.
- (c) Almacenamiento de frascos esterilizados para recibir las muestras.
- (d) Medición de muestras de agua contaminada con arsénico para el proceso de adsorción.
- (e) Uso de indicador colorimétrico para lectura de pH.
- (f) Lectura del pH del agua contaminada.