



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Influencia del pH, velocidad de agitación y temperatura en la adsorción de arsénico en agua utilizando goma de *Caesalpinia spinosa*”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Br. Garnique Reluz, Ana Claudia Jeraldine (ORCID: 0000-0002-6106-7597)

Br. Reyes Jurupe , Erika (ORCID: 0000-0001-7404-3861)

ASESORES:

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto (ORCID: 0000-0003-2052-6707)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

CHICLAYO – PERÚ

2020

Dedicatoria

A Dios, por guiarme y brindarme conocimiento para culminar mi primera etapa profesional.

A mi madre Ana María por ser la motivación de mi vida, brindarme su amor, esfuerzo y su ejemplo de valentía. A mi padre Pedro quien guía mis pasos y es mi inspiración de superación profesional.

A mis abuelos, tíos y primos quienes son mi apoyo incondicional y han estado presentes en toda mi etapa de formación personal y profesional.

Sus cuidados, enseñanzas y consejos son los pilares de mi vida.

Ana Claudia.

A Dios, por brindarme fortaleza y sabiduría para culminar la primera etapa de mi formación profesional.

A mis padres, Liliana y Orlando por su amor, lucha y sacrificio constante.

A mis hermanos, Josimar y Carlos por ser mi mayor motivación, apoyo y mejores amigos en el camino de la vida.

A mis abuelos, tíos, primos, etc. por creer en mí y estar presentes, brindándome su apoyo moral en los momentos más difíciles de mi etapa personal y profesional.

Los amo infinitamente...

Erika

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por bendecir mi vida y darme la oportunidad de disfrutar al lado de mi familia.

Gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme y apoyarme en esta larga etapa de mi vida; a mi padre por desear y anhelar siempre lo mejor para mí.

A mis abuelos quienes han sembrado las bases de responsabilidad y respeto para todos, y sus consejos nos permiten seguir en el camino correcto.

A mi familia por sus aportes, bondad y apoyo que han permitido que lo difícil de esta etapa se note menos.

Ana Claudia.

A Dios, por bendecir mi camino y permitir que mi familia disfrute de mis logros profesionales.

A mis padres por apoyarme incondicionalmente, por cada consejo y confiar en mí.

A mi hermano Josimar, porque fuiste tú quien sentó en mí las bases de superación, quien dio el primer paso para guiarme en este camino, por convertirte en nuestro soporte como familia y por siempre inculcarnos que la mayor herencia es la educación.

A mi hermano Carlos, por ser nuestra principal motivación en la vida.

Erika.

Agradecimiento

Agradecemos a nuestra casa de estudios por acogernos durante los cinco años de carrera, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental y nuestro Coordinador, Ing, Modesto Vásquez Vásquez y docentes, quienes con sus valiosos conocimientos, paciencia, dedicación y motivación fueron pieza clave en nuestra formación profesional.

A nuestros asesores, el Ing. César Augusto Monteza Arbulú y la Ing. Bertha Magdalena Gallo Gallo, principales colaboradores durante este proceso, quienes con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitieron el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros, amigos y futuros colegas por cada anécdota y experiencia vivida durante estos años. Este proceso no ha sido fácil por eso queremos exaltar su labor y su apoyo incondicional en la realización de este proyecto de investigación. Son únicos, y esperamos que este momento especial, perdure a lo largo del tiempo como un grato recuerdo de una etapa maravillosa en nuestras vidas.

Ana Claudia.

Erika.

Página del Jurado

Declaratoria de Autenticidad

Índice

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Página del Jurado.....	v
Declaratoria de Autenticidad	vi
Índice	vii
Índice de Tablas.....	viii
Índice de figuras	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MÉTODO	15
2.1. Tipo de diseño de investigación.....	15
2.2. Población, muestra y muestreo	15
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	16
2.4. Procedimiento	17
2.5. Método de análisis de datos	21
2.6. Aspectos éticos	21
III. RESULTADOS	22
IV. DISCUSIÓN.....	32
V. CONCLUSIONES.....	33
VI. RECOMENDACIONES	34
REFERENCIAS	35
ANEXOS	42
Anexo 01. Galería Fotográfica	42
Anexo 02. Operacionalización de Variables	48
Anexo 03. Resultados de Análisis	49
Anexo 04. Acta de Aprobación de originalidad de tesis	51
Anexo 05. Reporte Turnitin.....	52
Anexo 06. Autorización de Publicación de tesis en el Repositorio Institucional UCV	53
Anexo 07. Autorización de la versión final del Trabajo de Investigación	54

Índice de Tablas

Tabla 01. <i>Distribución de pruebas</i>	18
Tabla 02. <i>Pruebas a 200/100 rpm en pH 4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C</i>	22
Tabla 03. <i>Pruebas a 200/100 rpm en pH 6 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C</i>	23
Tabla 04. <i>Pruebas a 200/100 rpm en pH 8 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C</i>	23
Tabla 05. <i>Pruebas a 200/100 rpm en diferentes pH y temperaturas</i>	24
Tabla 06. <i>Pruebas a 160/80 rpm en pH 4 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C</i>	25
Tabla 07. <i>Pruebas a 160/80 rpm en pH 6 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C</i>	25
Tabla 08. <i>Pruebas a 160/80 rpm en pH 8 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C</i>	26
Tabla 09. <i>Pruebas a 160/80 rpm en diferentes pH y temperaturas</i>	27
Tabla 10. <i>Pruebas a 120/60 rpm en pH 4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C</i>	28
Tabla 11. <i>Pruebas a 120/60 rpm en pH4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C</i>	28
Tabla 12. <i>Pruebas a 120/60 rpm a pH 8 en temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C</i>	29
Tabla 13. <i>Pruebas a 120/60 rpm en diferentes pH y temperaturas</i>	30
Tabla 14. <i>Porcentaje de adsorción de Arsénico después de las pruebas</i>	31

Índice de figuras

<i>Figura 01.</i> Modelo estructural del Galactomanano de la Goma de Tara	10
<i>Figura 02.</i> Flujograma del procedimiento para la adsorción de Arsénico en agua utilizando <i>Caesalpinia spinosa</i>	20
<i>Figura 03.</i> Pruebas a 200/100 rpm en pH 4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C	22
<i>Figura 04.</i> Pruebas a 200/100 rpm en pH 6 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C	23
<i>Figura 05.</i> Pruebas a 200/100 rpm en pH 8 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50°C	24
<i>Figura 06.</i> Pruebas a 200/100 rpm en diferentes pH y temperaturas	24
<i>Figura 07.</i> Pruebas a 160/80 rpm en pH 4 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C	25
<i>Figura 08.</i> Pruebas a 160/80 rpm en pH 6 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C	26
<i>Figura 09.</i> Pruebas a 160/80 rpm en pH 8 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C	26
<i>Figura 10.</i> Pruebas a 160/80 rpm en diferentes pH y temperaturas	27
<i>Figura 11.</i> Pruebas a 120/60 rpm en pH 4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C	28
<i>Figura 12.</i> Pruebas a 120/60 rpm en pH 6 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C	29
<i>Figura 13.</i> Pruebas a 120/60 rpm en pH 8 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C	29
<i>Figura 14.</i> Pruebas a 120/60 rpm en diferentes pH y temperaturas	30

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación, fue evaluar la influencia del pH, la velocidad de agitación y temperatura en la adsorción de arsénico en agua utilizando goma de *Caesalpinia spinosa*, siendo el tipo de investigación Experimental. La muestra de agua se obtuvo del pozo del caserío Cruz de Médano ubicado en el distrito de Mórrope, presentando un pH 8.486, temperatura de 27 °C y 0.10 mg/L en concentración de Arsénico (As). Se realizaron 27 pruebas, utilizando 1 g de goma de *Caesalpinia spinosa*, aplicando 3 diferentes revoluciones de mezcla continua (200/100 rpm, 160/80 rpm, 120/60 rpm) la primera rápida (5min) y la segunda lenta (20min) con pH 4, 6 y 8 a temperaturas de 25 °C, 35 °C y 50°C cada una. La concentración la concentración de arsénico se determinó mediante la técnica de Gutzeit utilizando el Arsenic test MQuant™. Los resultados con mayor adsorción de arsénico fueron en 200/100 a pH 4 y 6 a temperatura de 50 °C; y en 160/80 rpm a pH 4 y 6 en 25 °C, disminuyendo a 0.001 mg/L, y en 120/60 rpm a pH 4 y 6 en una temperatura de 50 °C logrando disminuir a 0.002 mg/L. En conclusión, se demostró que en todos los ensayos realizados hubo adsorción de arsénico, sin embargo, el tratamiento a pH 6 con temperatura de 25 °C y velocidad de agitación a 160/80 rpm alcanzó mejores resultados, valores que nos brindaran una solubilidad y manejo aceptable para filtrar el agua después del tratamiento.

Palabras Claves: Arsénico, *Caesalpinia spinosa*, galactomanano, pH, temperatura.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the influence of pH, agitation speed rate and temperature on the adsorption of arsenic in water using *Caesalpinia spinosa* gum, being the type of research experimental. The water sample was obtained from the well of the Cruz de Médano Caserio located in the Morrope district, presenting a pH 8.486, temperature of 27°C and 0.10 mg/L in Arsenic (As) concentration. Twenty-seven tests were performed, using 1 g of *Caesalpinia spinosa* gum, applying 3 different groups of revolutions were applied by continuous mixing (200/100 rpm, 160/80 rpm, 120/60 rpm) the first was fast (5min) and the second slow (20min) with samples at pH 4, 6 and 8 at temperatures of 25 °C, 35 °C and 50°C each. The concentration of arsenic was determined by the Gutzeit technique using the Arsenic test MQuant™. The results with the highest arsenic adsorption were 200/100 at pH 4 and 6 at a temperature of 50 °C; and in 160/80 rpm at pH 4 and 6 at 25 °C, decreasing to 0.001 mg/L, and in 120/60 rpm at pH 4 and 6 at temperature of 50 °C achieving a decrease to 0.002 mg/L. In conclusion it was demonstrated that in all the tests carried out there was arsenic adsorption, however the treatment at pH 6 with temperature of 25°C and agitation speed at 160/80 rpm achieved better results, values that gave us a solubility and acceptable management to filter the water after the treatment.

Keywords: Arsenic, *Caesalpinia spinosa*, galactomannan, pH, temperature.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es considerada el recurso indispensable para la existencia en el mundo. Siendo el 3.5% agua dulce, del cual sólo el 0.025% es apta para el consumo humano, convirtiéndose en un recurso limitado, cuya demanda, según las perspectivas de la Organization for Economic Co-operation and Development (OECD, 2015), aumentará a un 55% posiblemente para el año 2050 (p. 2).

Dadas las condiciones, el recurso hídrico es considerado como uno de los objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS), puesto que presenta diferentes retos como la falta de agua potable y sobre todo las condiciones en las que se encuentran por el inadecuado tratamiento que reciben o por medio de la contaminación, poniendo en peligro el estado del mismo y la salud de la población (Fundación Aqua, 2015, p. 4).

El arsénico, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) manifiesta que es una de las 10 sustancias químicas más alarmante para la salud pública, encontrándose de manera natural en la corteza terrestre debido a la evolución geoquímica de las rocas y sedimentos, de igual manera las actividades humanas mediante los procesos industriales y extractivos, los cuales generan altas concentraciones de arsénico en el ambiente.

Con respecto a sus cuatro estados de oxidación: As (0), As (III), As (V), Gas Arsina (-3), los de mayor interés son los compuestos trivalentes y pentavalentes, clasificándolos en compuestos arsenicales inorgánicos, orgánicos y la arsina (Hughes, Beck, Chen, Lewis, y Thomas, 2011, pp. 305-332). Están presentes en alimentos y organismos en el estado de oxidación pentavalente, pero en cantidades minúsculas, sin embargo, los lugares donde existen terrenos con este mineral generan contaminación directamente en aguas subterráneas (Galetovic y A.G.G. de Fernicola, 2003, p. 366-367).

Puede ser consumido por diferentes vías de acceso, mediante inhalación, ingesta, y contacto dérmico, siendo esta última una ruta de exposición menor (Agency For Toxy Substances and Disease Registry, 2007). Así mismo, los estudios epidemiológicos ejecutados por la International Agency for Research on Cancer (IARC), demuestran que la ingesta del metaloide por medio del agua de bebida y la exposición ha generado cáncer en la piel, hígado, riñón, pulmón, vejiga, entre otros (Hong, Song, y Chung, 2014, p. 245-252).

Instituciones como la OMS (2018) por muchos años orientó un valor de 50 µg/l, pero en 1993 determinó un valor aceptable de 10 µg/l, aunque éste solo sea considerado un valor provisional, dado que la eliminación del mismo conlleva muchas dificultades. De igual forma la Agencia de Protección Ambiental (EPA), en el 2001 determinó reducir la concentración de arsénico de 50µg/L para 10 µg/l en agua para beber (Galetovic y A.G.G. de Fernicola, 2003, p. 366-367).

Por otro lado, la Occupational Health and Safety Agency (OSHA) de EE. UU. también estableció valores permisibles para la exposición al arsénico, los cuales se sitúa por debajo de los 10µg/l en un periodo de 8 horas en una semana ocupacional. Del mismo modo la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) instaure su valor límite de 10 µg/l de arsénico, mientras que el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) es de 2 µg/l en el aire por un periodo que no sea superior a los 15 minutos (Agency For Toxy Substances and Disease Registry, 2009, p. 35).

En el transcurso del tiempo se han registrado diferentes casos de contaminación, superando los 50 µg/l de arsénico según la norma vigente, debido a procesos termales y depósitos residuales de la minería, entre otros. Entre los países afectados encontramos, en Asia: Bangladesh, Nepal, China, Taiwán, Vietnam, India (Bengala Oeste). En América: EE. UU, Chile, Perú, El Salvador, México y Argentina. En Europa: Grecia, Hungría, Rumania y España (Alarcón, María et al, 2013, pp. 28-31).

A nivel mundial, según la OMS, Bangladesh fue el caso más crónico en la historia en cuanto a la contaminación de aguas subterráneas con arsénico puesto que los pozos están ubicados dentro de los 150,000 km² de lecho rocoso de la cuenca del río Brahmaputra ricos en arsénico, afectando a más de 30 millones de habitantes con concentraciones de 2500 µg/l. en el agua (Alarcón, María et al, 2013, p. 12).

Ante ello la FAO en el 2001 realizó exámenes en este país y en otras zonas de Asia, siendo financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Gracias a los resultados obtenidos se pudo descubrir que el arsénico que contenía el agua subterránea utilizada en la agricultura, se acumulaba en diversas partes de la planta de arroz generando un peligro latente para la seguridad alimentaria, del mismo modo se estimó que cada año aproximadamente son 1000 ton de arsénico que a través del riego se acumulan en los suelos

agrícolas, principalmente en los arrozales (Departamento de Agricultura y Protección del consumidor, 2006).

Así mismo en la India se registraron casos de personas con lesiones cutáneas debido al arsénico, y en el Oeste de Bengala, 1 millón de pozos estaban contaminados con arsénico, lo cual afectó a 22 mil personas, falleciendo alguna de ellas por cáncer (Organización Mundial de la Salud, 2006, p. 9).

En el estudio de caso: Monitoreo y mitigación de la contaminación – Vietnam, en el Delta del río rojo se registraron niveles de arsénico mayores a 1000 $\mu\text{g/L}$ en agua de pozo, afectando a 1 millón de personas, algunas de ellas con casos de envenenamiento (International Institute for Sustainable Development, 2002-2008, p. 1).

Por otro lado, en Taiwán, el consumo de agua subterránea contaminada con arsénico provocó la enfermedad del pie negro, el cual obstruye los vasos sanguíneos del pie y pierna, generando la pérdida de sensibilidad y por último la gangrena (Medina, Robles, Mendoza y Torres, 2018).

En Latinoamérica en países como Bolivia, Brasil, El Salvador, Nicaragua, Honduras, México, Ecuador, Chile, y Perú, se han detectado niveles elevados de arsénico en algunas especies de consumo, como la leche de vaca, el pescado, granos, papa, cebolla, remolacha, calabaza, rábano, col y frijoles. A ello, se estima que aproximadamente 4,5 millones de personas consumen agua que contiene arsénico de forma permanente, llegando a superar los 1 000 $\mu\text{g/l}$. (McClintock et al, 2012, pp. 76-91).

En el 2010, mediante el estudio realizado por el doctor Andrei Tchernitchin, constató que el agua de la localidad de Livilcar en Chile contenía arsénico en niveles de 94.4 a 111 $\mu\text{g/L}$, sin embargo, esta alarma ha crecido dado que la contaminación se ha extendido a la capital de la región de Arica y Parinacota (Schnitzer, 2010). En este mismo año, en la localidad de Clodomira de Argentina; el pediatra Carlos Padial registró alrededor de 100 mil personas afectadas por la contaminación de agua con arsénico, en la cual 150 de ellas tenían la enfermedad de Hidroarsenicismo crónico endémico regional (HACRE), de los cuales 12 de ellos murieron (Trofelli, 2010).

En Brasil, debido a la fuerte actividad minera que ejecutaban las minas el Santa Bárbara, Ouro Preto y Nova Lima, perjudicó suelos y aguas, y por ende la salud de dicha población por más de 300 años.

Por su parte, en México se registraron 17 estados que presentaban contaminación natural por arsénico en el agua subterránea, siendo la Región Lagunera la zona más estudiada, en donde se encontró pozos con niveles de 8 hasta 624 $\mu\text{g/l}$ de arsénico, el Valle de Guadiana-Durango registró concentraciones entre 35 y 60 $\mu\text{g/l}$ y en Zimapán-Hidalgo, donde se reportó concentraciones de hasta 490 $\mu\text{g/l}$ (López, 2013, p.9).

Por otro lado, la geóloga Eawag Caroline de Meyer y su equipo conformado por investigadores peruanos y brasileños, realizaron un estudio a 250 muestras de agua subterránea, teniendo como resultado, que dichas aguas no son aptas para el consumo porque contiene arsénico, aluminio y manganeso. Siendo el arsénico el que mayor concentración tiene, alcanzando 70 veces los valores máximos recomendados (De Meyer, 2018, p. 1).

En el Perú, en la región Puno, en la zona de Carancas se registraron concentraciones de más de 10 $\mu\text{g/l}$ en las aguas subterráneas de acuíferos, de la misma manera se han evaluado las aguas de Huanta en donde se encontraron valores de 500 $\mu\text{g/l}$ en aguas subterráneas poco profundas, la procedencia de este contaminante se vincula a la zona volcánica (Cordillera Occidental de los Andes) en donde el arsénico se encuentra presente en diversas especies de minerales (Apaza y Calcina, 2014, p.51).

Así mismo, en las ciudades de Cairani y Camilaca en la región de Tacna, se tomaron muestras de orina a 174 pobladores dando como resultado que el 98% de ellos tienen 84,6 veces más alto que el valor permitido considerado en la normativa nacional, estos resultados nos dan una evidencia sobre la alta sobre exposición que tienen la población de Tacna con este metaloide (Mauricio, Villa, y Gastañaga, 2017, pp. 183-189).

En Lima, en el año 2002, mediante un análisis a las aguas del Río Rimac se pudo determinar que este tenía concentraciones de arsénico, de hasta 780 $\mu\text{g/l}$. (González et al., 2015, pp. 547-556). Estos resultados provocaron un impacto alarmante en la población, puesto que este río abastece de agua a toda la ciudad. Otro caso se manifestó en la zona sur, en donde se determinó que las concentraciones de arsénico en el río Salado y Callazas eran muy elevados, llegando a alcanzar los 1680 y 640 $\mu\text{g/l}$ (McClintock et al., 2012, pp. 76-91).

Por otro lado, la región Lambayeque no ha sido ajena a este problema, dado que dos de sus distritos están en alarma debido a que los pozos de aguas subterráneas utilizadas para consumo humano presentan elevados niveles de arsénico. Mediante el informe de emergencia emitido por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) hace de conocimiento que la calidad química del agua de los pozos de 14 localidades del distrito de Mórrope presentan concentraciones de 0.07, 0.5 y 0.1 mg/L, las cuales superan el valor permitido de 0.01 mg/L. (Agencia Peruana de Noticias - Andina, 2018).

Del mismo modo, la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque S.A (EPSEL) dio a conocer que Pacora presenta niveles de arsénico de 0.0106, y aunque este sobrepasa en baja cantidad los resultados en largos periodos de exposición pueden ser alarmantes (Radio Programas del Perú - RPP, 2018).

Sin embargo, aunque existan diversas maneras para la eliminación de este metaloide, ya sea, mediante coagulación, adsorción, intercambio iónico, filtración de membrana, entre otros, el reto está en la implementación de dichos procesos, debido a que los gobiernos no invierten por presentar costos elevados (Lenntech, 2019).

Contreras, Colina, López, Campos y Rincón (2016, p 24-30) en la publicación de su artículo llamado Capacidad de Adsorción del Carbón Activado de Algarrobo como Lecho Fijo para la Adsorción de Níquel, tuvo como objetivo establecer un tratamiento químico para efluentes que contienen níquel, usando de carbón activado granular; para ello se efectuó una columna de carbón activado granular de algarrobo CAA para la adsorción, para lo cual se tuvo en cuenta el caudal, la concentración de níquel y la longitud de la columna, los cuales fueron ajustados con pH de 3,00; 4,50 y 6,00.

El procedimiento consistió en pasar las soluciones a través de la columna, para luego ser recolectadas en viales y llevado a un espectrofotómetro para ser analizadas; este procedimiento se fue repitiendo hasta lograr que la concentración del níquel fuese igual en la entrada y en la salida. Los resultados del estudio mostraron que la solución con pH 6,00 alcanzó una remoción de 88,91 %, el cual fue más satisfactorio que las demás soluciones con el resto de los pH.

Vaca, López, Terres y Lizardi (2017) en su artículo Aplicación de goma de guar, lecitina de soya y mucílago de nopal como tensoactivos en la extracción de plomo mediante lavado de

suelos contaminado, el objetivo de dicho estudio fue evaluar la aplicación de las diferentes biomásas vegetales utilizándolos como tensoactivos naturales y biodegradables para lavar suelos contaminados (p. 4).

Se realizaron muestras de las 3 biomásas, las cuales se manejaron en relación 1:5 (m/v) entre suelo y la solución de lavado, eso significa que se utilizó una cantidad de 100 g de suelo en 500 ml de solución de lavado colocándose a un agitador rotatorio a 30 rpm durante 8 horas. Como resultado se obtuvo remoción con goma guar 37.8 %, lecitina de soya 29.9 % y mucílago de nopal 17.4 %. El proceso fue repetido con el mismo tensoactivo, retirando el plomo de los lixiviados mediante precipitación convencional utilizando óxido de calcio (CaO) y neutralización.

Al finalizar los procesos se concluyó que con la solución de goma guar adquirió una remoción de 86.7 % con cuatro ciclos de lavado; con lecitina de soya al 0.5 % se obtuvo una remoción de 87.1 % de remoción con seis ciclos de lavado, se comprobó también que el lavado con mucílago de nopal sería eficaz solo para remover concentraciones pequeñas de plomo (Vaca et al,2017, p.8).

Merma (2018) en su investigación titulada Remoción de mercurio a través de la bioadsorción con biomásas de vainas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y tara (*Caesalpinia spinosa*) en soluciones acuosas, tuvo como objetivo evaluar la remoción de mercurio en soluciones, obteniendo biomásas de frijol y tara con dosis y pH establecidas. Para la obtención de biomásas utilizó las semillas de frijol y tara siguiendo el proceso de lavado, secado, molido, tamizado y desecado; sus ensayos fueron preparados en concentración de 1mg de mercurio (Hg) por cada litro de agua y ajustados a pH 4 y 9 teniendo una temperatura de 15 °C, y revoluciones de 220 rpm en un período de contacto de 60 minutos. Añadiendo dosis de 0.8 y 2.5 g de cada una de sus biomásas (p. 43).

Los resultados demostraron que hubo mayor remoción utilizando 2.5 g de biomasa, con la tara en pH 4 y en el frijol con pH 9; logrando una remoción de 79 % y 90 % respectivamente, logrando una mejor adsorción con la biomasa de frijol.

Caso y Laureano (2018) en su investigación titulada La Goma de Tara como agente floculante en la optimización del proceso de remoción de arsénico con FeCl₃ presente en agua de mina, se enfoca en determinar la medida de adsorción de arsénico combinando la

tara y el cloruro férrico, utilizando pH determinado, revoluciones rápidas y lentas. Los tratamientos se emplean combinando diferentes concentraciones de cloruro férrico FeCl_3 como coagulante (10, 15, 20 y 25 mg/L) y la goma de tara como floculante (1; 1,5 y 2 g/ml) para lo cual se llevaron todas las muestras a pH 8 y una temperatura de 24 °C; en su proceso se llevó a cabo dos revoluciones diferentes, la mezcla rápida a 100 rpm para añadir cloruro férrico durante 90 segundos y la mezcla lenta para añadir la goma de tara a 40 rpm durante 25 minutos, teniendo posteriormente 60 min como tiempo de reposo (p. 59).

Al finalizar el tratamiento se concluyó que el rango de cloruro férrico FeCl_3 como coagulante para la remoción de arsénico está entre 15 a 25 mg/l, y la dosis idónea de goma de tara se da entre 1,5 y 2,5 g/l las cuales han generado una remoción de más de 85%, siendo la más eficaz la combinación de 15 mg/l de cloruro férrico y 1,5 g de goma de tara.

Chicoma (2019, p. 37) en su tesis titulada Dosis óptima de goma de tara, *Caesalpinia spinosa*, para remoción de arsénico en aguas subterráneas del Distrito de Mórrope, en el cual su objetivo principal buscaba la dosis exacta para remover arsénico. En sus tratamientos se utilizaron las dosis de 1 a 5 gramos del dosificador en 750 ml de la muestra, con un pH de 8 para todas las dosis utilizando velocidades rápidas y lentas. Se evidenció como resultado que la mejor dosis para la adsorción es de 1 gramo de goma de tara, con un porcentaje de remoción de más de 90 %.

El arsénico (As), es un metaloide debido a que sus elementos tienen baja conductividad, su número atómico es 33; es de color gris plateado brillante, quebradizo y amorfo. Tiende a formar compuestos inorgánicos si se combina con oxígeno, azufre o cloro y compuestos orgánicos si se combina con hidrógeno o carbón (Ramirez, 2013); en su estado natural el arsénico está presente en la corteza terrestre, y es distribuido ampliamente en el ambiente, a su vez son generadas por diversas actividades humanas incrementando la contaminación en aire, agua y suelo (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Según la Agency For Toxic Substances and Disease Registry (2009, p. 12), manifiesta que la toxicidad de este metaloide depende de su estructura química orgánica e inorgánica, valencia, solubilidad, estado físico y pureza, y la de sus tasas de eliminación y adsorción. Según el grado de toxicidad se clasifica en: Arsénico elemental, compuestos orgánicos e inorgánicos trivalentes y pentavalentes.

En consecuencia, el compuesto inorgánico, como arsenito (iAs^{3+}) tiende a ser más tóxico que el arseniato (iAs^{5+}) y ambos son más tóxicos que los compuestos que son metilados, como el ácido monometilarsónico (MMA) y el ácido dimetilarsínico (DMA). Sin embargo, otros compuestos orgánicos son considerados menos tóxicos, como: arsenobetaina, arsenocolina y arsenoazúcares (Ramírez, 2013).

La exposición a este metaloide puede darse de diferentes formas:

- Por ingesta: mediante el consumo de agua directamente como bebida, el uso de esta en procesos industriales, alimentación y riego de cultivos, etc.
- Por inhalación y partículas: mediante el consumo de tabaco, quema de maderas tratadas con arsénico, gases industriales, etc.
- Por contacto dérmico: puede ocurrir por contacto dérmico al manejar directo al manipular productos tratados o que contengan arsénico

En general la exposición directa y continua a elevadas concentraciones de arsénico pueden inducir graves enfermedades y causar la muerte (Medline Plus - Información de salud para usted, 2018).

Las enfermedades generadas por arsénico generalmente tienen un período prolongado de latencia, es por eso que muchos pacientes expuestos al arsénico permanecen afectados por años (Agency For Toxy Substances and Disease Registry, 2009, p. 30).

Según Ramírez (2013), teniendo en cuenta el tipo de compuesto, la intensidad y el tiempo de exposición, los principales síntomas que puede presentar una persona son: la neuropatía dolorosa en las extremidades, encefalopatía, trastorno axonal nervioso, anorexia, náuseas, diarreas, ictericia, hepatomegalia, cirrosis, acrodermatitis en la sangre y sistema cardiovascular, irritación, cáncer de pulmón, riñón, hígado, piel, vejiga, etc. y descamación en la piel; la exposición a niveles elevados de arsénico puede provocar la muerte (Lenntech, 2019).

El arsénico, en la naturaleza puede transportarse por medio de aguas de escorrentía y tormentas de polvo. Siendo la principal vía de exposición para las especies el agua superficial o subterránea, debido a su consumo y por ser el medio ecosistémico de peces y otros.

En consecuencia, a ello las especies marinas sufren alteración genética y las aves son envenenadas debido al consumo de restos orgánico contaminados. Por otro lado, mediante el riego las plantas tienden a absorber de forma muy fácil el metaloide, siendo un gran problema para la industria alimentaria y bienestar de la humanidad (Quimtia Industrial - Medio Ambiente, 2017).

La *Caesalpinia spinosa* conocida comúnmente como tara, taya o guarango es una especie forestal que se desarrolla de forma silvestre en diversos países de la zona andina de Sudamérica (Narváez, Calvo, y Troya, 2010, p. 7). Esta especie pertenece a la familia *Fabaceae* y género *Caesalpinia*; la cual es cultivada en diversas zonas del país, entre los 500 a 3 200 m.s.n.m. (De la torre, 2018, p. 6), siendo los departamentos de la Libertad, Cajamarca, Ayacucho, Apurímac, Huánuco, Cusco, etc. los importantes productores.

Este árbol no requiere muchas condiciones de suelo y el manejo técnico, aunque prefiere suelos livianos y francos arenosos, algo calcáreos, ricos en materia orgánica. Sin embargo, también aceptan los suelos no tan livianos, pedregosos y degradados, pero tiende a ser vulnerable a lugares con temperaturas mínimas, mayor humedad ambiental y escasas de drenaje (De la Torre, 2018, p. 14).

Con respecto a la siembra de la tara se realiza semilla a semilla con un aproximado de 6000 semillas por kilogramo, el inicio de germinación se da entre los 8 a 12 días y finaliza a los 20 días; su tiempo de producción generalmente inicia entre los dos y tres años. Pero se puede prolongar a cuatro años si ésta es silvestre, sin embargo, algunos estudios han determinado que pueden llegar a producir desde los diez meses de iniciada la siembra alcanzando su mayor producción a partir de los 15 años y disminuyendo a los 65, pero al cabo de los 85 años resulta prácticamente improductiva (Robel, 2012); la cosecha se realiza dos veces por año, recolectando entre 25 a 46 Kilogramos de vainas (De la Torre, 2018, p. 34).

Perú Ecológico (2009) describe la morfología de la tara como una planta que puede alcanzar un tamaño entre los 4 a 8 m de altura y en condiciones favorables llega hasta los 12 m., su raíz es abundantes situada de forma vertical y profunda en la tierra; posee una copa que se caracteriza por ser poco densa, irregular y aparasolada, con presencia de ramas ascendentes; su tronco es leñoso con ramas que miden aproximadamente 4 mm. de largo, presentando forma retorcida con espinas pequeñas, sus hojas son compuestas y alternas en forma de pluma, de color verde oscuro ligeramente brillante; posee flores que tienden a ser de color

amarillo rojizo con frutos de color naranja rojizo las cuales contienen de 4 a 7 semillas ovoides de color pardo oscuro.

La goma de tara es obtenida a partir de la molienda del endospermo de la semilla mediante la separación del germen y la cáscara de la cual es considerada como un espesante acuoso.

Su estructura química está compuesta por polisacáridos, principalmente galactomanano, que comprenden una cadena lineal de monómeros de manopiranos (manosa) y galactopiranos (galactosa) en unidades 3:1, es decir en cada tres moléculas de manosa existe una de galactosa.

Escalante (2015, p. 18) en su tesis para obtener el grado de Magister Scientiae en tecnología de alimentos nos muestra mediante una figura el modelo estructural del galactomanano.

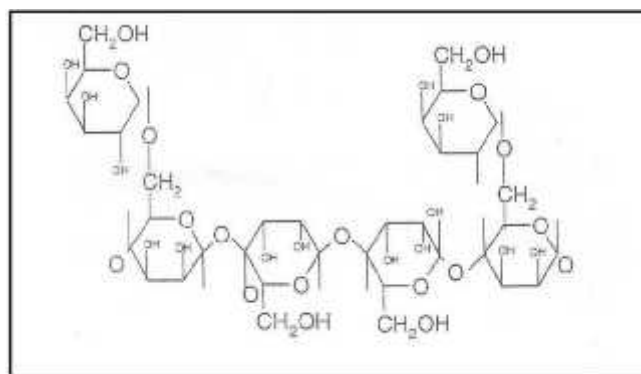


Figura 01. Modelo estructural del Galactomanano de la Goma de Tara

Debido a su composición química, en su mayoría es utilizada en la industria alimentaria como un coloide para estabilizar, espesar, aglomerar y emulsionar la textura de los alimentos. A su vez existen otras gomas con características y funcionalidad similar a los galactomananos de la goma de tara, en relación de manosa a galactosa como son la goma garrofín 4.5:1 y goma guar 2:1 (Sanabria, 2011, p. 20).

En cuanto a sus porcentajes, esta goma contiene galactomanano un 80 %, agua 13.76 %, proteína 2.5 %, residuo insoluble en ácidos o fibra cruda 2 %, ceniza un 0.53 % y 0.7 % grasa, así mismo la relación porcentual de azúcares es manosa en un 70.9 %, glucosa 1.9 %, galactosa 24.41 % y arbinosa 2.80 %; siendo relación porcentual de sus hidrocoloides (manosa y galactosa) 1:3 (Sanabria, 2011, p. 19).

La tara habita en los valles andinos de Sudamérica, abarcando desde Venezuela hasta el norte de Chile; en nuestro país se cultiva en bosques y matorrales de zonas áridas y semiáridas de lomas costeras de los valles interandinos (Sanabria, 2011, p. 11); en la actualidad el Perú es considerado el principal productor de tara a nivel mundial con un 80% de producción, la cual se distribuye por 16 departamentos del país, logrando exportar aproximadamente de 5 mil toneladas que son destinadas a países como EE.UU., España, Italia, Alemania, Suiza (De la Torre, 2018, p. 44).

La biosorción representa la eliminación de metales pesados que se da en una solución acuosa por medio de una biomasa, el proceso consiste en secuestrar la especie metálica por medio de compuestos químicos o grupos de captura encontrados en biomasa muerta o viva (Trelles, 2013, p. 23). Los mecanismos de biosorción dependen de las características del adsorbente, la naturaleza del metal, su estructura y las condiciones experimentales (Angarita, 2013, p. 13).

Trelles (2013), indica que existen factores que intervienen en la biosorción como: el pH que se relaciona en base al coagulante, la temperatura la cual mejora la remoción por biosorción al incrementar la actividad superficial, el tiempo de contacto que se considera a la longitud de tiempo en que se une el biosorbente y el líquido, la dosis del biosorbente la cual reduce la cantidad del contaminante, el tamaño reducido son favorables debido a que incrementa el área superficial y la velocidad de agitación la cual mejora la remoción por biosorción al reducir la resistencia de transferencia (p. 29 -30).

El pH es la expresión final de la acción del ion hidrógeno en una solución, representada como:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

En la etapa de tratamiento, se considera al pH una de las variables con mayor influencia en la adsorción de metales pesados (Izquierdo, 2010, p. 45). Este parámetro no sólo determina el material utilizado en cuanto a las reacciones de aceptación y donación de protones, sino también de la naturaleza iónica que contenga el medio acuoso (Montes, 2014, p. 40).

De acuerdo a la especie iónica el pH tendrá un efecto diferente, para los aniones el pH óptimo se encuentra entre 1.5 y 4.0, mientras que para los cationes el pH óptimo es superior a 4.0 (Merma, 2018, p. 31).

La velocidad de agitación es un factor importante en el tratamiento, puesto que permite que el adsorbente y el adsorbato que contiene el agua se mezclen de forma homogénea.

En el proceso de coagulación las velocidades de agitación se aplican en dos etapas, la primera consta de una mezcla enérgica y rápida en un periodo corto de tiempo permitiendo que la biomasa utilizada se disperse totalmente con el agua, y la segunda es una mezcla lenta y moderada por un tiempo más prolongado logrando formar microflóculos los cuales se encargarán de capturar los metales pesados. Por otro lado, la velocidad de agitación también dependerá de la dosis de biomasa que se utilice en el tratamiento previsto (Caso y Laureano, 2018, p. 43).

La temperatura del agua en el proceso de adsorción influye directamente en la interacción del soluto y adsorbato, dado que este agente puede sufrir un cambio brusco en su textura como biomasa, y esté propenso a disminuir su capacidad adsorbente (Merma, 2018, p. 38).

La prueba de jarras es un procedimiento utilizado habitualmente en el laboratorio con la finalidad de determinar las condiciones óptimas de operatividad para el tratamiento de aguas contaminadas, permitiendo la eliminación de sustancias contaminantes por medio de la precipitación o sedimentación de las partículas de gran tamaño que se encuentran en suspensión; el proceso fisicoquímico mediante la coagulación y floculación de partículas de tamaño intermedio que se presentan como coloides o por la absorción y adsorción de partículas de menor tamaño alcanzando menos de una milésima de micra.

Para la aplicación de este proceso se debe tener en cuenta una serie de factores como el pH óptimo, el agente coagulante, la dosis adecuada, velocidad, tiempo de contacto y tiempo de reposo posterior al tratamiento, con la finalidad de obtener las condiciones óptimas y los parámetros adecuados para una mayor eficiencia de remoción (Caso y Laureano, 2018, p. 42-43).

En general, de acuerdo a lo mencionado se ha planteado la siguiente problemática ¿Cómo influye el pH, la velocidad de agitación y la temperatura en la adsorción de arsénico en agua utilizando goma de *Caesalpinia spinosa*?

Por otro lado, este trabajo tiene como finalidad disminuir la concentración de arsénico en aguas, basándose en tres aspectos muy importantes.

En el aspecto ambiental, esta investigación pretende ayudar a reducir la concentración de arsénico en aguas ya sea subterráneas o superficiales, las cuales se puedan esparcir fácilmente y contaminar diversos ecosistemas creando un desequilibrio que puede llegar a ser irreparable.

En el aspecto social, se busca contribuir con un tratamiento apropiado para la absorción de este metal y de esta forma evitar los daños futuros en la salud de las personas ya que se habla de un metal altamente tóxico que puede causar la muerte; esta información y tratamiento servirá para las autoridades que lo requieran para resolver problemas en su jurisdicción.

En el aspecto económico este trabajo genera una buena opción frente al escenario en el que se encuentran diferentes distritos alrededor del país, los cuales no cuenta con un tratamiento adecuado para la purificación de agua utilizada para consumo humano por ser altamente costosos.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

H1: El pH, la velocidad de agitación y la temperatura influyen en la adsorción de arsénico en agua utilizando la goma de *Caesalpinia spinosa*.

H0: El pH, la velocidad de agitación y la temperatura no influyen en la adsorción de arsénico en agua utilizando la goma de *Caesalpinia spinosa*.

El objetivo general de esta investigación es:

Evaluar la influencia del pH, la velocidad de agitación y temperatura en la adsorción de arsénico en agua utilizando goma de *Caesalpinia spinosa*.

Para los cual se desarrollan los siguientes objetivos específicos:

Determinar la concentración de arsénico antes del tratamiento utilizando goma de *Caesalpinia spinosa*.

Establecer la velocidad de agitación para la adsorción de arsénico en aguas utilizando la goma de *Caesalpinia spinosa*.

Identificar la temperatura adecuada para la adsorción de arsénico en aguas utilizando la goma de *Caesalpinia spinosa*.

Identificar el pH adecuado para la adsorción de arsénico en agua utilizando la goma de *Caesalpinia spinosa*.

Determinar la concentración de arsénico después del tratamiento utilizando goma de *Caesalpinia spinosa*.

II. MÉTODO

2.1. Tipo de diseño de investigación

- Tipo de investigación:

Experimental

- Diseño de investigación:

Cuasi experimental

2.1.1. Variables, operacionalización

- Variable dependiente:

Adsorción de arsénico

- Variable independiente:

pH

Velocidad de agitación

Temperatura

2.2. Población, muestra y muestreo

2.2.1. Población.

En el presente trabajo de investigación, la población está conformada por el agua subterránea de los pozos pertenecientes al Distrito de Mórrope.

2.2.2. Muestra.

Se compone de 50 L de agua subterránea de los pozos del caserío Cruz del Médano ubicado en el Distrito de Mórrope.

2.2.3. Muestreo.

El muestreo es no probabilístico, no aleatorio, no mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.3.1. Técnica de recolección de datos.

2.3.1.1 Técnica de muestro.

El muestreo es no probabilístico por conveniencia ya que este se ejecuta en casos accesibles; y es el investigador quien decide que parte de la población será su muestra ya sea por intención, conveniencia o accidental (Otzen y Manterola, 2017).

2.3.1.2 Técnica de Electrometría.

Con esta técnica se determina el pH, en el cual se establece el registro potenciométrico de los iones hidrógeno dando las características ácidas o básicas del agua (IDEAM, 2007, p. 2).

De la misma forma se determina la corriente eléctrica en soluciones acuosas, la cual se denota la presencia de iones (IDEAM, 2006, p. 2).

2.3.1.3 Técnica de Gutzeit.

Método donde el arsénico (As) se convierte en arsina (AsH_3) a través de un reductor agregando dos gotas de una solución que contiene zinc (Zn), ácido clorhídrico (HCl) y Cloruro de estaño (SnCl_2); el ácido malónico el cual elimina interferencias y Zinc en polvo que libera arsina, este último reacciona con una cinta empapada con bromuro de mercurio lo que produce un compuesto intensamente coloreado (Martínez y Vásquez, 2005, p. 3).

2.3.2. Instrumentos, materiales y equipos de recolección de datos.

Material de campo

- Guardapolvo
- Guantes
- Cubre-boca
- Tanques de agua (25 L)
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica

Material de laboratorio

- Vasos de precipitación del 100ml
- Piceta
- Varilla

- Pipetas 5 ml
- Cuchara dosificadora
- Lunas de reloj
- Papel filtro 47 μm

Equipos

- Prueba de jarras PHIPPS & BIRD
- Equipo de filtración al vacío ROCKER 300
- Balanza analítica SARTORIUS
- pH metro HANNA
- Agitador magnético SCILOGEX
- Plancha de calentamiento QUICK 870 ESD
- Termómetro
- Arsenic test MQuant™

Reactivos

- Ácido nítrico 68 % (HNO_3)
- Hidróxido de sodio 1M (NaOH)

2.3.3. Validez.

Los resultados del estudio de investigación tienen validez por la realización de los análisis en el laboratorio de biotecnología de la Universidad César Vallejo – Chiclayo, en el cual se determinan los parámetros físicos y químicos del agua antes y después de tratamiento.

2.4. Procedimiento

Diagnóstico: Se investigan los niveles arsénicos en los diferentes pozos del distrito de Mórrope y se examinan las publicaciones hechas, donde se determinó el suministro del Centro poblado Cruz del Médano, en el cual se toma la muestra para realizar el estudio.

2.4.1. Muestreo.

La toma de muestra se realizará de forma manual, por conveniencia de donde se extraen 50 litros del agua para ser llevado al laboratorio.

2.4.2. Determinación de pH.

En determinación de pH se emplean 60 ml de agua, para ello se realiza una agitación moderada al recipiente para homogeneizar la muestra, se determina con el electrodo, luego 7 segundos se obtendrá el resultado.

2.4.3. Determinación de concentración de arsénico.

Para la determinar la concentración de arsénico se utilizó el Arsenic test MQuant™; se coloca en la botella de reacción 60 ml de la muestra de agua, se le agrega dos gotas de As 1 (agitando para mezclar uniformemente), luego se agrega As 2 con la cuchara dosificadora roja rasa (agitando para que se disuelva de forma completa), posteriormente se añade As 3 con la cuchara dosificadora verde rasa, por último se tapa el frasco reactor y se despliega la cinta con bromuro en la tapa rosca, dejando 20 minutos en reposo (durante este tiempo se agita tres veces de forma circular).

Pasado este tiempo se retira la cinta y se compara con los rangos colorimétricos en el Arsenic test para determinar la concentración de arsénico.

2.4.4. Tratamiento de la adsorción de arsénico en agua utilizando goma de *Caesalpinia spinosa*.

En el laboratorio de biotecnología de la Universidad Cesar Vallejo al tener las muestras se procedió a realizar los tratamientos correspondientes teniendo como base la dosis de 1g de goma de *Caesalpinia spinosa* por cada jarra de 900 ml de agua; para ello se realizaron 27 pruebas como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 01. Distribución de pruebas

Masa (g)	Mezclas			
	pH	200/100 rpm	160/80 rpm	120/60 rpm
1	4	25 °C	25 °C	25 °C
		35 °C	35 °C	35 °C
		50 °C	50 °C	50 °C
	6	25 °C	25 °C	25 °C
		35 °C	35 °C	35 °C
		50 °C	50 °C	50 °C
	8	25 °C	25 °C	25 °C
		35 °C	35 °C	35 °C
		50 °C	50 °C	50 °C

Fuente: elaboración propia

Se añadió 1ml de ácido nítrico 95 % (HNO₃) por cada litro de agua para conservar las condiciones e iniciar las pruebas, el ácido modifica el agua a pH 2, es por ello que luego se le agrega hidróxido de sodio 1M (NaOH) para aumentar su valor y llevarlos a pH 4, 6 y 8 respectivamente.

Luego de estabilizar el pH de cada muestra, se procedió a modificar la temperatura a 25 °C, 35 °C y 50 °C logrando obtener temperaturas diferentes para cada pH.

A cada una de las muestras antes mencionadas, de 900 ml se le agregó 1 g. de goma de *Caesalpinia spinosa*, después se procedió a tratarlas en diferentes mezclas que consta de dos tiempos, la primera es la mezcla rápida en un periodo corto de tiempo (5min.) y la segunda se da en tiempo prolongado (20 min.).

Las mezclas son tres: 200/100 rpm, 160/80 rpm, 120/60 rpm.

Cada una de las muestras tiene un tiempo de reposo de 30 minutos en donde los coloides formados precipiten de forma natural y favorezca en la filtración que se da en la bomba al vacío, utilizando papel filtro de 47 µm.

Por último se determina la concentración de arsénico utilizando el Arsenic test MQuantTM de cada muestra tratada.

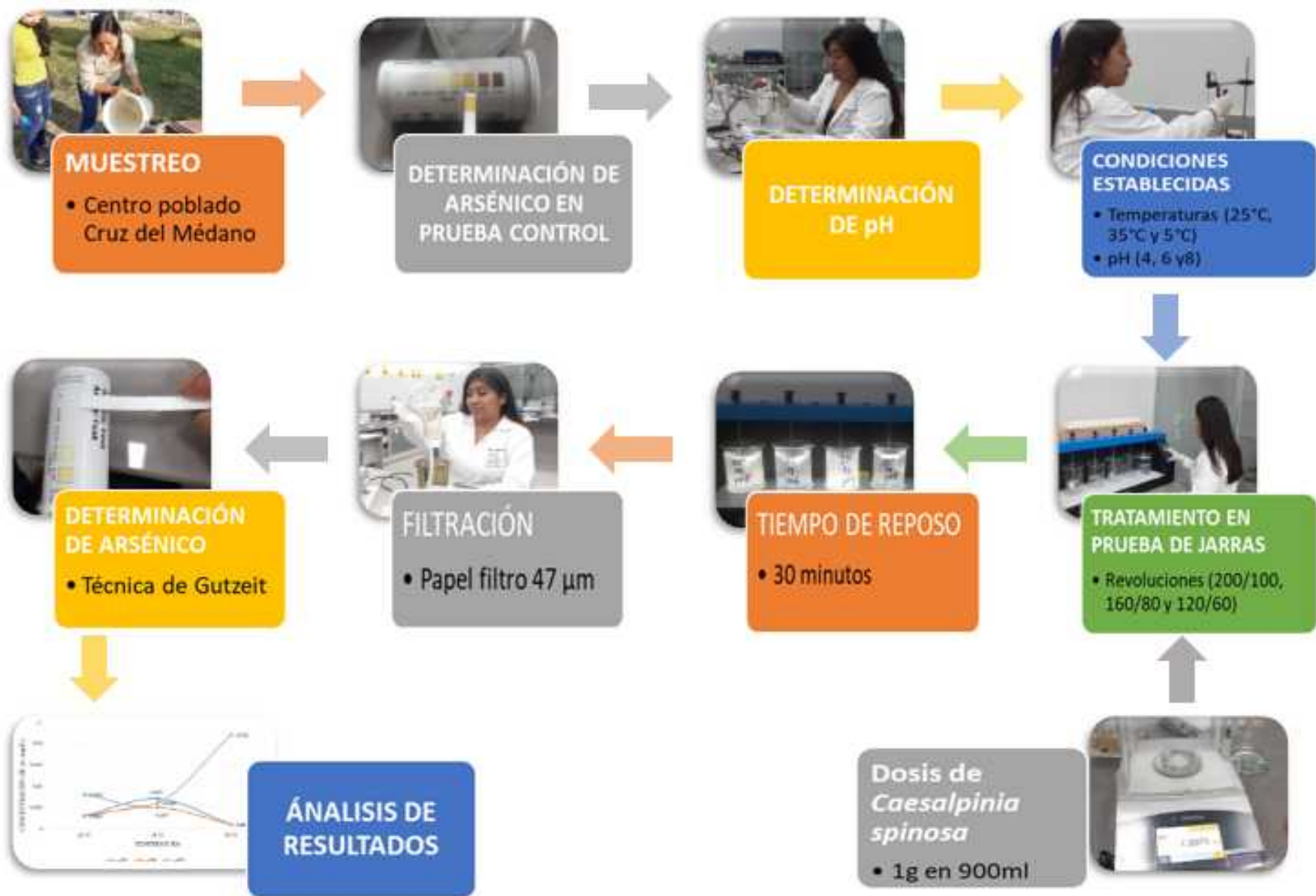


Figura 02. Flujo de trabajo del procedimiento para la adsorción de Arsénico en agua utilizando *Caesalpinia spinosa*

2.5. Método de análisis de datos

En el análisis cuantitativo de los datos obtenidos se utiliza el programa estadístico EXCEL, posterior a ello se realiza la interpretación de los resultados.

2.6. Aspectos éticos

La presente investigación tiene como base fuentes confiables, con sustento teórico de investigaciones internacionales y nacionales, del mismo modo se presentan resultados verídicos obtenidos de acuerdo a cada técnica aplicada. Por último, cabe mencionar que a lo largo del proyecto se trabajó teniendo en cuenta los valores y principios éticos, a ello demostramos evidencias mediante registro fotográfico de todo el proceso.

III. RESULTADOS

A continuación, se describen los resultados obtenidos en la aplicación del tratamiento de adsorción de arsénico en agua utilizando goma de *Caesalpinia spinosa*.

En primera instancia, el agua fue analizada en su estado natural determinando así los parámetros iniciales: pH 8.486, temperatura 27 °C y concentración de Arsénico 0.10 mg/L.

De acuerdo a los objetivos, se consideró aplicar 27 pruebas utilizando 1 g de goma de *Caesalpinia spinosa*. Fueron 3 revoluciones diferentes con muestras a pH 4, 6 y 8 a temperaturas de 25 °C, 35 °C y 50 °C cada una de ellas. (Revisar p. 29)

Las revoluciones se realizaron por medio de mezcla continua, es decir la primera de forma rápida en un periodo de 5 min. y la segunda en 20 min.

Tabla 02. Pruebas a 200/100 rpm en pH 4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

pH 4	Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
	Concentración de As (mg/L)		0.003	0.007

Fuente: elaboración propia

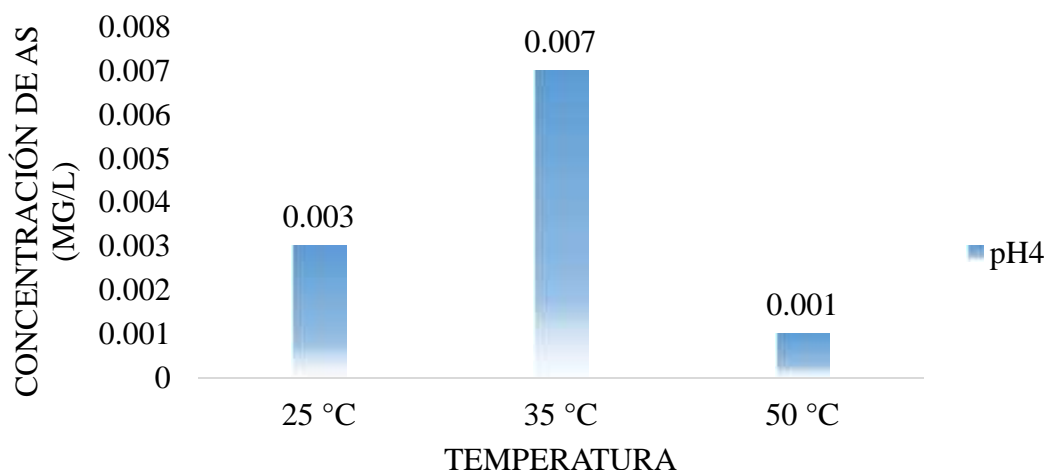


Figura 03. Pruebas a 200/100 rpm en pH 4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

En la Figura 03 se observa que las pruebas a 200 rpm de mezcla rápida y 100 rpm de mezcla lenta en pH 4 y 25 °C la concentración fue 0.003 mg/L, en 35 °C llegó a 0.007 mg/L, y en 50 °C alcanzó 0.001 mg/L, siendo la última prueba donde se logró mayor adsorción.

Tabla 03. Pruebas a 200/100 rpm en pH 6 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

pH 6	Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
	Concentración de As (mg/L)	0.003	0.005	0.001

Fuente: elaboración propia

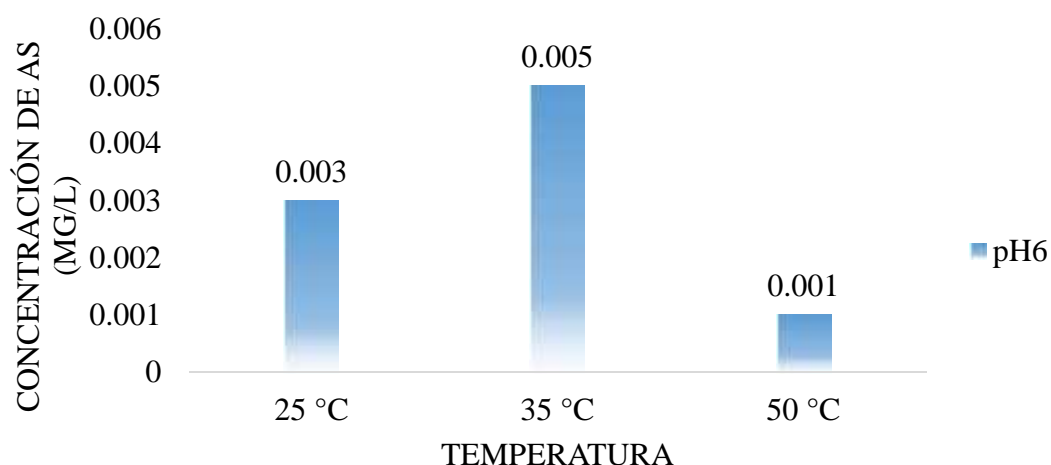


Figura 04. Pruebas a 200/100 rpm en pH 6 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

En la Figura 04 se observa que los resultados de las pruebas a 200 rpm en mezcla rápida y 100 rpm en mezcla lenta en pH 6 y temperatura de 25 °C la concentración fue 0.003 mg/L, en 35 °C fue de 0.005 mg/L y en 50 °C alcanzó 0.001 mg/L, logrando mayor adsorción en la última prueba.

Tabla 04. Pruebas a 200/100 rpm en pH 8 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

pH 8	Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
	Concentración de As (mg/L)	0.008	0.006	0.022

Fuente: elaboración propia

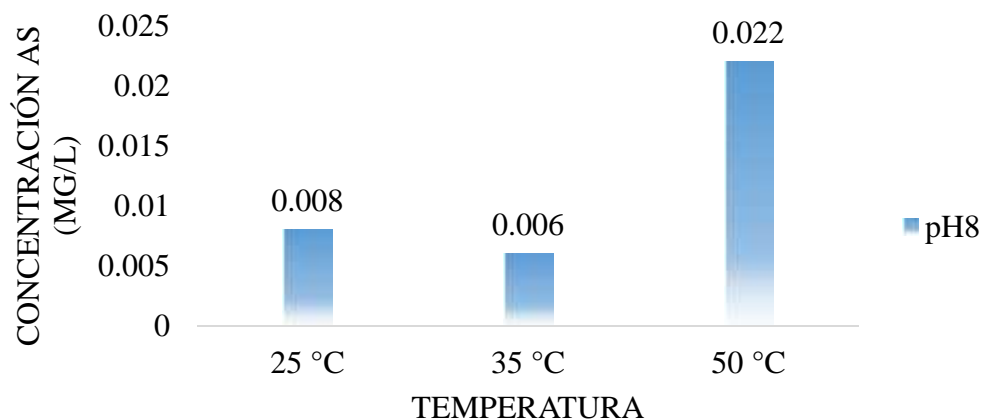


Figura 05. Pruebas a 200/100 rpm en pH 8 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

En la figura 05 se observa que los resultados de las pruebas a 200 rpm en mezcla rápida y 100 rpm en mezcla lenta a pH 6 y temperatura de 25 °C la concentración fue 0.008, en 35 °C alcanzó 0.006 mg/L y en 50 °C llegó a 0.022 mg/L, demostrando que la última prueba tuvo menor adsorción en comparación a los dos primeros.

Tabla 05. Pruebas a 200/100 rpm en diferentes pH y temperaturas

Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
pH 4	0.003	0.007	0.001
pH 6	0.003	0.005	0.001
pH 8	0.008	0.006	0.022

Fuente: elaboración propia

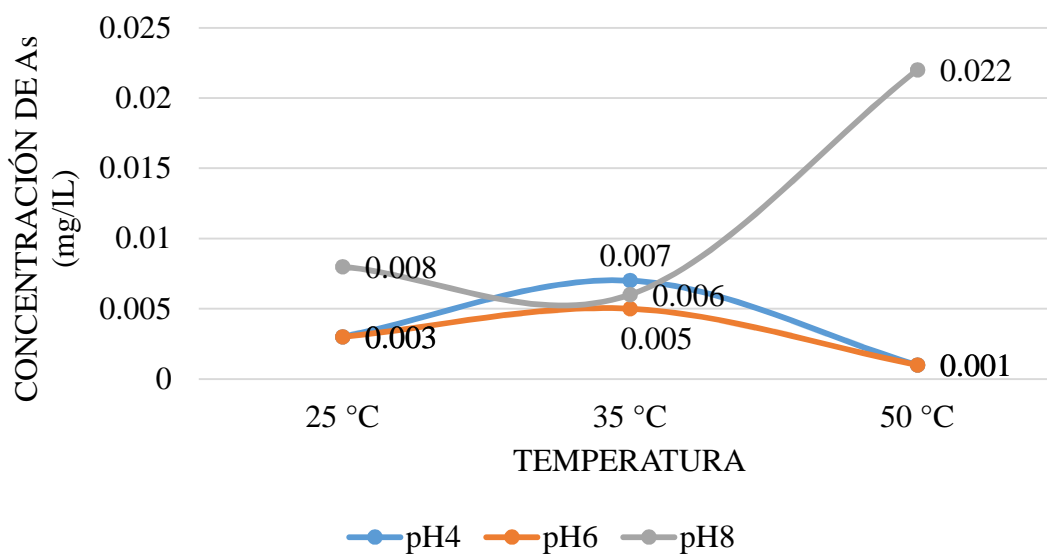


Figura 06. Pruebas a 200/100 rpm en diferentes pH y temperaturas

En la Figura 6 se detalla los resultados de las pruebas a 200 rpm en mezcla rápida y 100 rpm en mezcla lenta a diferentes pH y temperaturas. Demostrando que la mayor adsorción de arsénico presente en el agua se logró a pH 4 y 6 a temperatura de 50 °C.

Tabla 06. Pruebas a 160/80 rpm en pH 4 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

pH4	Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
	Concentración de As (mg/L)		0.001	0.004

Fuente: elaboración propia

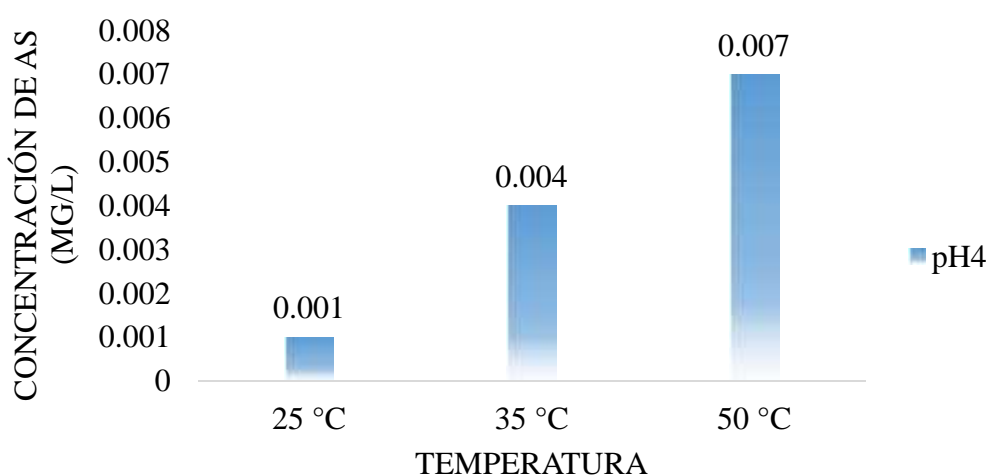


Figura 07. Pruebas a 160/80 rpm en pH 4 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

En la Figura 07 se observa que los resultados de las pruebas a 160 rpm en mezcla rápida y 80 rpm en mezcla lenta a pH 4 y temperatura de 25 °C la concentración fue 0.001, en 35 °C alcanzó 0.004 mg/L y en 50 °C llegó a 0.007 mg/L, demostrando que la primera prueba tuvo mayor adsorción.

Tabla 07. Pruebas a 160/80 rpm en pH 6 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

pH 6	Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
	Concentración de As (mg/L)		0.001	0.003

Fuente: elaboración propia

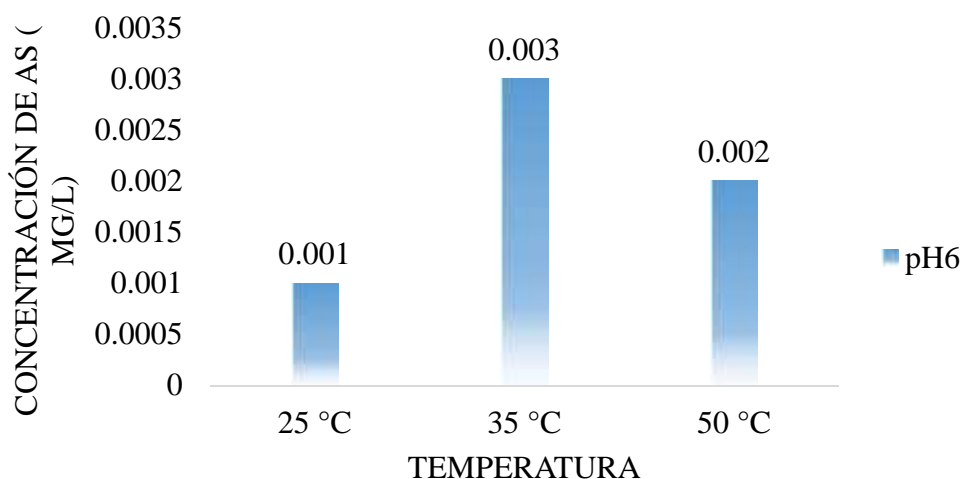


Figura 08. Pruebas a 160/80 rpm en pH 6 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

En la Figura 08 se observa que los resultados de las pruebas a 160 rpm en mezcla rápida y 80 rpm en mezcla lenta a pH 6 y temperatura de 25 °C la concentración fue 0.001, en 35 °C alcanzó 0.003 mg/L y en 50 °C llegó a 0.002 mg/L, demostrando que no existen diferencias considerables en la adsorción siendo la primera prueba la que logró mayor adsorción.

Tabla 08. Pruebas a 160/80 rpm en pH 8 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

	Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
pH 8	Concentración de As (mg/L)	0.002	0.004	0.004

Fuente: elaboración propia

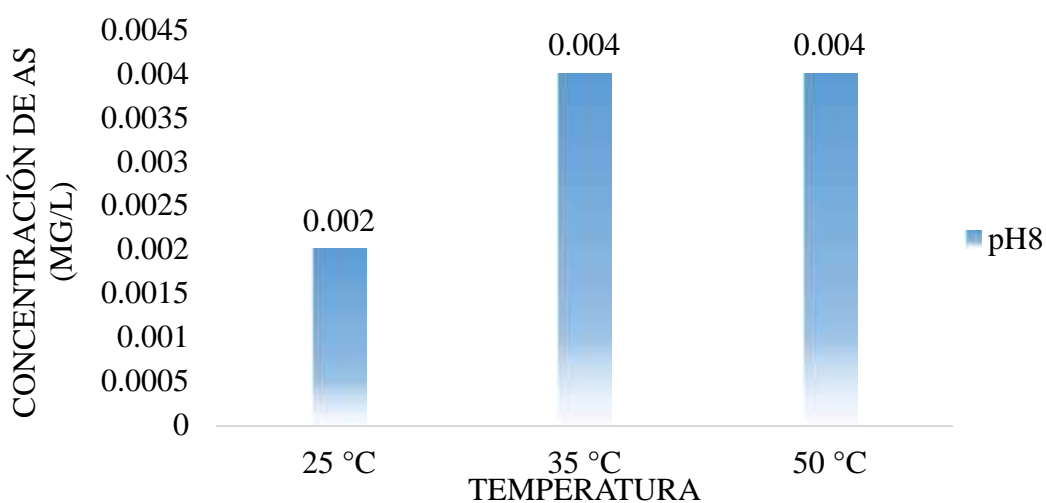


Figura 09. Pruebas a 160/80 rpm en pH 8 y temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

En la Figura 09 se observa que los resultados de las pruebas a 160 rpm en mezcla rápida y 80 rpm en mezcla lenta a pH 6 y temperatura de 25 °C la concentración fue 0.002, mientras que en 35 °C y 50 °C la concentración fue 0.004 mg/L demostrando que la primera prueba tuvo mayor adsorción.

Tabla 09. Pruebas a 160/80 rpm en diferentes pH y temperaturas

Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
pH4	0.001	0.004	0.007
pH6	0.001	0.003	0.002
pH8	0.002	0.004	0.004

Fuente: elaboración propia

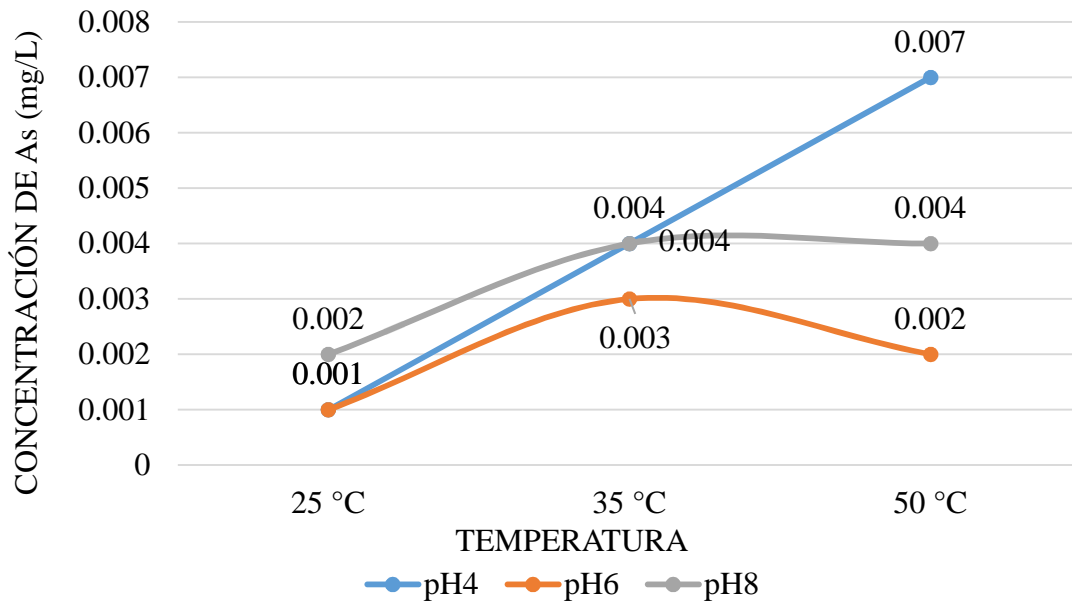


Figura 10. Pruebas a 160/80 rpm en diferentes pH y temperaturas

En la Figura 10 se especifica los resultados de las pruebas a 160 rpm en mezcla rápida y 80 rpm en mezcla lenta a diferentes pH y temperaturas. En donde se puede identificar que la mayor adsorción de arsénico presente en el agua se consiguió a pH 4 y 6 en una temperatura de 25 °C.

Tabla 10. Pruebas a 120/60 rpm en pH 4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

	Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
pH 4	Concentración de As (mg/L)	0.008	0.008	0.004

Fuente: Elaboración propia

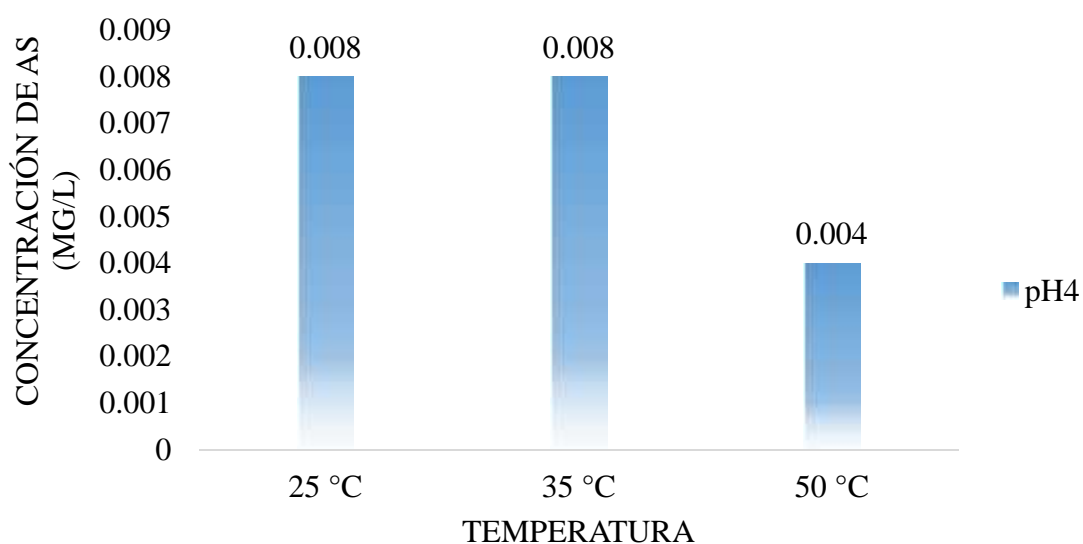


Figura 11. Pruebas a 120/60 rpm en pH 4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

En la Figura 11 se observa que los resultados de las pruebas a 120 rpm en mezcla rápida y 60 rpm en mezcla lenta a pH 4 en temperaturas de 25 °C y 35 °C la concentración fue 0.008 mg/L, y en 50 °C llegó a 0.004 mg/L demostrando que la última prueba tuvo mejor resultado.

Tabla 11. Pruebas a 120/60 rpm en pH4 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

	Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
pH 6	Concentración de As (mg/L)	0.003	0.002	0.004

Fuente: elaboración propia

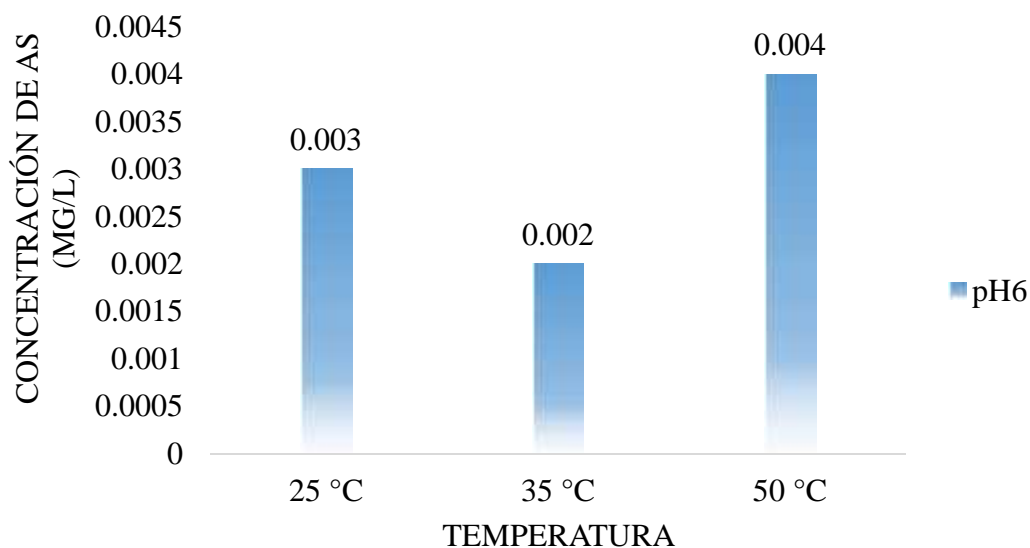


Figura 12. Pruebas a 120/60 rpm en pH 6 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

En la Figura 12 se observa que los resultados de las pruebas a 120 rpm en mezcla rápida y 60 rpm en mezcla lenta a pH 6 en temperaturas de 25 °C y 35 °C la concentración fue 0.008 mg/L, y en 50 °C llegó a 0.004 mg/L demostrando que la última prueba tuvo mejor resultados.

Tabla 12. Pruebas a 120/60 rpm a pH 8 en temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

Temperatura	25 °C	35 °C	50 °C
pH 8 Concentración de As (mg/L)	0.015	0.007	0.008

Fuente: elaboración propia

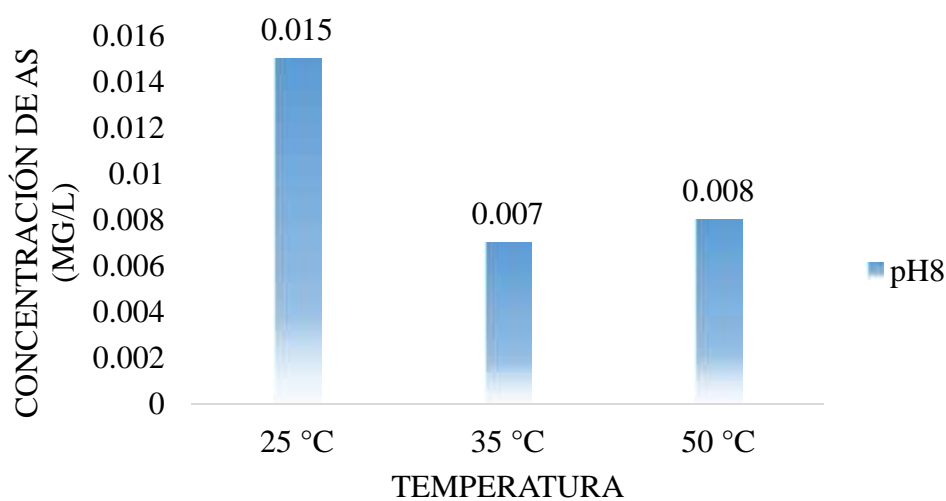


Figura 13. Pruebas a 120/60 rpm en pH 8 a temperaturas 25 °C, 35 °C y 50 °C

En la Figura 13 se observa que los resultados de las pruebas a 120 rpm en mezcla rápida y 60 rpm en mezcla lenta a pH 8 y temperatura de 25 °C la concentración fue 0.015, en 35 °C alcanzó 0.007 mg/L y en 50 °C llegó a 0.008 mg/L, demostrando que la segunda prueba fue más efectiva.

Tabla 13. Pruebas a 120/60 rpm en diferentes pH y temperaturas

Temperatura		25 °C	35 °C	50 °C
Concentración de As (mg/L)	pH 4	0.008	0.008	0.004
	pH 6	0.003	0.002	0.004
	pH 8	0.015	0.007	0.008

Fuente: elaboración propia

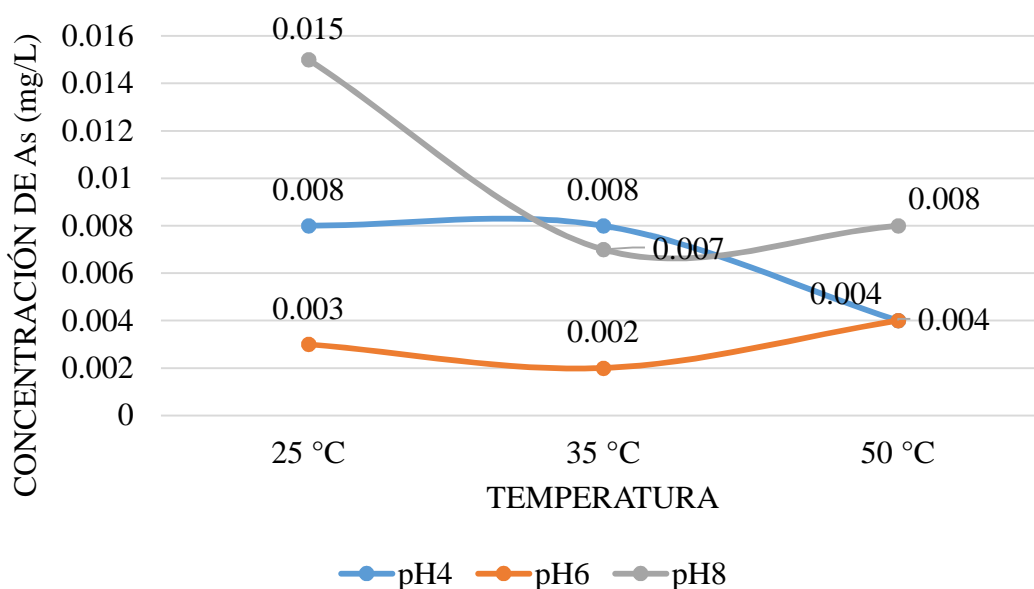


Figura 14. Pruebas a 120/60 rpm en diferentes pH y temperaturas

En la Figura 14 se describe los resultados de las pruebas a 120 rpm en mezcla rápida y 60 rpm en mezcla lenta a diferentes pH y temperaturas. Identificando que la mayor adsorción de arsénico presente en el agua se obtuvo a pH 6 en una temperatura de 35 °C.

Tabla 14. Porcentaje de adsorción de Arsénico después de las pruebas

pH	Mezc.	200/100	% de	160/80	% de	120/60	% de
	Temp.	rpm	Ads.	rpm	Ads.	rpm	Ads.
4	25 °C	0.003	97 %	0.001	99 %	0.008	92 %
	35 °C	0.007	93 %	0.004	96 %	0.008	92 %
	50 °C	0.001	99 %	0.007	93 %	0.004	96 %
6	25 °C	0.003	97 %	0.001	99 %	0.003	97 %
	35 °C	0.005	95 %	0.003	97 %	0.002	98 %
	50 °C	0.001	99 %	0.002	98 %	0.004	96 %
8	25 °C	0.008	92 %	0.002	98 %	0.015	85 %
	35 °C	0.006	94 %	0.004	96 %	0.007	93 %
	50 °C	0.022	78 %	0.004	96 %	0.008	92 %

Fuente: elaboración propia

En la tabla 15 se muestran los resultados finales de las pruebas propuestas, demostrando mayor porcentaje de adsorción de arsénico en 200/100 a pH 4 y 6 a temperatura de 50 °C con 99 %, en 160/80 rpm a pH 4 y 6 en 25 °C fue 99 %; y en 120/60 rpm a pH 6 en temperatura de 35 °C alcanzó el 98 %.

Ante ellos se puede rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, dado que el pH, la velocidad de agitación y la temperatura influyen en la adsorción de arsénico en agua utilizando la goma de *Caesalpinia spinosa*.

IV. DISCUSIÓN

Merma (2018) evalúa la remoción de mercurio en soluciones, con biomásas de frijol y tara por tratamiento físico. Dichos tratamientos se realizaron a temperatura de 15 °C, y mezcla de 220 rpm en un período de contacto de 60 minutos, ajustados a pH 4 y 9, utilizando 2.5 g de tara, logrando como resultado el 79 % remoción. En el presente trabajo se reveló que las mezclas mayores de 200 rpm no logran una adsorción significativa, sin embargo, combinando revoluciones de 200/100 rpm a altas temperaturas (50 °C) se puede lograr una remoción significativa del 90 %.

Por otra parte, Caso y Laureano (2018) adsorben arsénico combinando la tara y el cloruro férrico, a pH 8 y temperatura de 24 °C; combinando la mezcla rápida a 100 rpm durante 90 segundos y la mezcla lenta a 40 rpm durante 25 minutos; obteniendo con la combinación una remoción del 85 % de arsénico presente en agua. En la presente investigación se utiliza solo la goma de tara con el mismo pH, a temperatura similar (25 °C) a revoluciones de 160/80 rpm, con este tratamiento se consigue adsorber un 98 % de arsénico en el agua.

Además, Chicoma (2019) busca la dosis exacta para remover arsénico. En sus tratamientos utiliza pH de 8 y combinaciones de velocidades rápidas y lentas, en donde se evidencio el 90 % de remoción con dosis de 1g por cada litro de agua contaminada. Sin embargo, en el actual trabajo realizado se puede señalar que se logró el 99 % de adsorción utilizando la misma cantidad de biomasa, a pH 4 y 6 en temperaturas de 25 °C y 50 °C.

V. CONCLUSIONES

En conclusión, se ha evaluado la influencia que tiene el pH, la temperatura y la velocidad de agitación para la adsorción de arsénico utilizando como biomasa la goma de *Caesalpinia spinosa*.

1. La concentración de arsénico presente en el centro poblado Cruz de Médano fue de 0.10 mg/l, con un pH de 8.486 y una temperatura de 27 °C.
2. Se establecieron diferentes combinaciones de velocidad de agitación, mediante un tratamiento continuo, utilizando una mezcla rápida (5min) y una lenta (20min) para cada tratamiento; donde se pudo evidenciar que las mezclas aceptables para una mayor adsorción son 200/100 rpm en altas temperaturas y 160/80 rpm a temperatura ambiente.
3. En cuanto a temperatura, se realizaron tratamientos a 25 °C, 35 °C y 50 °C, logrando una mayor adsorción en todas las revoluciones a temperatura de 25 °C, siempre teniendo en cuenta que el valor del pH influye. Además, los tratamientos a temperatura de 50 °C intensifican la formación de coloides en la parte superior dificultando ser sedimentadas, para luego concluir con el filtrado.
4. Con respecto al potencial de hidrogeno para realizar los tratamientos, se utilizaron pH 4, 6 y 8; evidenciando una mayor adsorción en todos los ensayos a pH 6.
5. Después de los tratamientos efectuados en la prueba de jarras, se demostró que en todos los ensayos realizados hubo adsorción de arsénico, sin embargo, se manifestó mejores resultados de adsorción en el tratamiento a pH 6 con temperatura de 25 °C y velocidad de agitación a 160/80, valores que nos brindaran una solubilidad aceptable para filtrar el agua después del tratamiento.

VI. RECOMENDACIONES

1. Basándonos en los resultados obtenidos se recomienda utilizar adsorbentes naturales, ya que estos son una buena opción frente a la problemática descrita sobre la contaminación de agua con arsénico.
2. Se recomienda en estudios posteriores utilizar la *Caesalpinia spinosa* en la adsorción de otros metales presentes en aguas.
3. Se debe considerar realizar pruebas con repeticiones en distintos tiempos de contacto tanto en velocidades rápidas y lentas, teniendo como base la velocidad de agitación 160/80 rpm la cual logró la mayor adsorción de arsénico.

REFERENCIAS

AGUA de pozos en Mórrope contiene arsénico 9 veces más de lo permitido. [en línea]. Agencia Peruana de Noticias – Andina, 18 de octubre de 2018. [Fecha de consulta: abril 2019].

Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-agua-pozos-morrope-contiene-arsenico-9-veces-mas-de-permitido-728855.aspx>

ANGARITA, Fernando. Borra de Café como Material Adsorbente para la Remoción de Cromo (III). Tesis (Ingeniero Ambiental). Bogotá: Universidad Libre Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería, 2013. 43 pp.

APAZA, Rolando y CALCINA, Miguel. Contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno. Revista Investigaciones Altoandinas. 1 (16): 51-58, 2014

ISSN 2306-8582.

ALARCÓN, María et al. Arsénico en agua [en línea]. Chihuahua, 05 de febrero de 2014. Centro de Investigación en Materiales Avanzados. [Fecha de consulta: 18 de marzo de 2019].

Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro%202013-Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf> ISBN: 978607827214-3

APLICACIÓN de goma guar, lecitina de soya y mucílago de nopal como tensoactivos en la extracción de plomo mediante lavado de un suelo contaminado por Vaca Mabel, [et al.]. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco,4(13):1-10. Diciembre, 2017

Disponible en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000100005

ISSN-2410-356X.

ARSENIC Exposure Latin America: Biomarkers, Risk Assessments and Related Health Effects. The Science of the total environment por McClintock, T.R. et al. [en línea]. Julio 2012, vol. 429, pp. 76-91. [fecha de consulta: 30 de mayo]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971100920X> ISSN 0048-9697

ISSN 0048-9697.

ARSENIC, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of Western Amazonia (Peru). Por De meyer, C.M.C. [et al.], 2017. *Science of The Total Environment*, vol. 607-608, pp. 1437-1450.

ISSN 00489697

CAPACIDAD de Adsorción del Carbón Activado de Algarrobo como Lecho Fijo para la Adsorción de Níquel por Contreras, Efferson, [et al]. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* [en línea]. Vol.39 no.1 abril, 2016. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2019].

Disponible en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000100005

ISSN 0254-0770

CASO, Gustavo y LAUREANO, Laura. La goma de Tara como agente floculante en la optimización del proceso de remoción de arsénico con FeCl₃ presente en agua de mina. Tesis (Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales). Callao: Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, 2019. 100pp.

CHICOMA, Fiorela. Dosis óptima de goma de tara, *Caesalpinia spinosa*, para la remoción de arsénico en aguas subterráneas del Distrito de Mórrope. Tesis (Ingeniero Ambiental). Chiclayo: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2018. 53pp.

DE LA TORRE, Lucía. La Tara: beneficios ambientales y recomendaciones para su manejo sostenible e relictos de bosques y sistemas agroforestales. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina - Condesan. Quito, 2018. 52 pp.

DEPARTAMENTO de Agricultura y Protección del consumidor. Amenaza de arsénico en Bangladesh. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación [en línea]. Mayo, 2006. [Fecha de consulta: 19 de marzo]. Disponibilidad en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0605sp1.htm>

De Meyer, Caroline. *Science of the Total Environment* [en línea]. Abril, 2018, n° 607. [Fecha de consulta: mayo de 2019]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971731762X?via%3Dihub>
ISSN 1437-1450

DIRECCIÓN General de la Salud de las Personas (2012). Ministerio de Salud. Disponible en: <http://www.minsa.gob.pe/bvminsa.asp>

EFFECTOS del arsénico en la salud y el medio ambiente. [En línea] Quimtia Industrial - Medio Ambiente (2017). [Fecha de consulta: mayo 2019].

Disponible en <http://www.quimtiamedioambiente.com/blog/efectos-arsenico-salud-medio-ambiente/>

ESCALANTE, Valquiria. Aplicación de un recubrimiento comestible de goma de tara (*Casealpinia spinosa* Molina Kuntze) sobre fress (*Fragaria ananassa* cv. Aromas) para prolongar su conservación. Tesis (Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos) Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado, 2015. 152 pp.

ESTUDIO de caso: Monitoreo y mitigación de la contaminación – Vietnam. International Institute for Sustainable Development [en línea]. Vietnam, 2002-2008. [Fecha de consulta: 21 de marzo de 2019].

Disponible en: <https://www.iisd.org/learning/eia/es/wp-content/uploads/2016/06/ES-Case-Study-Vietnam-Pollution.pdf>

ESTUDIOS de Casos en Medicina Ambiental – Toxicidad del arsénico. [en línea]. [s.l.]. Agency For Toxy Substances and Disease Registry. EE.UU. Octubre, 2009. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2019].

Disponible en <https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/>

FUNDACIÓN Aquae. Agua y Desarrollo Sostenible [en línea]. 3.^a ed. [s.l.]: Hiroshi Kitamura, Intercom Strategys S.L., Impresión y encuadernación-¿Gráficas Ortells S.L., [2015?]. [Fecha de consulta: 13 de marzo de 2019].

Disponible en: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIESP.pdf

GALETOVIC, Alexxandra y DE FERNICOLA, Nilda. Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas [en línea]. Octubre-diciembre 2003, Vol. 39, n°. 4, pp. 365-372. [Fecha de consulta: 15 de marzo].

Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322003000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es ISSN 1516-9332. DOI 10.1590/S1516-93322003000400003.

GONZÁLES, Gustavo et al. Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública* [en línea]. Marzo 2015, vol. 31, n°. 3, pp. 547-556. [Fecha de consulta: 28 de mayo].

Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4351992/> ISSN 1726-4634.

HONG, Y.-S., SONG, K.-H. y CHUNG, J.-Y. Health Effects of Chronic Arsenic Exposure. *Journal of Preventive Medicine and Public Health* [en línea]. 11 de setiembre de 2014, vol. 47, n°. 5. [Fecha de consulta: 16 de marzo de 2019].

Disponible en: <https://www.jpmp.org/journal/view.php?number=1792>

HUGHES, Michael F. et al. *Toxicological Sciences*. National Center for Biotechnology Information Search database [en línea]. vol. 123, no. 2. [Fecha de consulta:].

Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3179678/> ISSN 1096-6080

INSTITUTO de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Determinación de pH en agua por electrometría. Subdirección de Hidrología - Grupo Laboratorio de Calidad Ambiental. Colombia: IHMEA, 2007. Código: TP0080

INSTITUTO de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas. Subdirección de Hidrología - Grupo Laboratorio de Calidad Ambiental. Colombia: IHMEA, 2006. Código: TP0082

IZQUIERDO, Marta. Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción, evaluación de materiales y modelación del proceso. Tesis (Ingeniera Química). Valencia: Universidad de Valencia, 2010. 352 pp.

I.S.B.N.: 978-84-370-7981-3

LÓPEZ, Miriam. Adsorción de arsénico y fluoruros en nanopartículas y su posterior separación del agua tratada. Tesis (Doctor en ciencias materiales). México Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., División de Estudios De Posgrado, 2013. 124 pp.

MAURICIO, Diego, VILLA, Guillermo y GASTAÑAGA, María del Carmen. Concentraciones de arsénico urinario en pobladores de dos distritos de la región Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica* [en línea]. 2018, vol. 35, n°. 2, pp. 183-189. Fecha de consulta: 28 de mayo de 2019].

Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-46342018000200002&lng=pt&nrm=iso&tlng=es ISSN 1726-4634

MARTINEZ, Luis y GASQUEZ, José. Determinación de arsénico en aguas: diferentes técnicas y metodologías. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 2005.

MEDLINE Plus - Información de salud para usted. Arsénico. EE.UU., 2018. Disponible en <https://medlineplus.gov/spanish/arsenic.html>.

MERMA Aviles, Virginia. Remoción de mercurio a través de la bioadsorción con biomasa de vaina de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y tara (*Caesalpinia spinosa*) en soluciones acuosas. Tesis (Ingeniera Ambiental). Juliaca: Universidad Peruana Unión, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, 2018. 91pp.

MEDINA, María et al. Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* [en línea]. Lima, enero-marzo 2018, vol.35, n°. 1. [pp. 365-372. [Fecha de consulta: 20 de marzo].

Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342018000100015 ISSN 1726-4634

MONTES, Erika. Estudio de adsorción de ácido rojo 114 y básico azul 3 sobre tallo de girasol. Tesis (Ingeniero Ambiental). Bogotá: Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, 2014. 67 pp.

NARVÁEZ, Alexandra, CALVO, Amanda y TROYA, Ana. Las Poblaciones Naturales de la Tara (*Caesalpinia spinosa*) en el Ecuador: Una aproximación al conocimiento de la Diversidad Genética y el contenido de Taninos por medio de estudios moleculares y bioquímicos. Serie Investigación y Sistematización n°. 7. Quito, 2010. 39 pp.
ISBN: 978-9942

ORGANIZACIÓN Mundial de la Salud. 15 de febrero de 2018. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.

OECD Better Police for better lives. Organization for Economic Co-operation and Development [en línea]. 2015. Disponible en: <https://www.oecd.org/governance/oecd-principles-on-water-governance.htm>

OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology* [en línea]. Vol 35, n°1. Marzo, 2017. [Fecha de consulta: 03 de septiembre de 2019].

Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=en&nrm=iso&tlng=en

ISSN 0717-9502

PERÚ Ecológico. Tara (*Caesalpinia spinosa*). Medicina y Tinte en una sola especie. Enero, 2009. Disponible en https://www.peruecologico.com.pe/flo_tara_1.htm

PUBLIC Health Statement, Arsenic [en línea]. [s.l.]. Agency For Toxy Substances and Disease Registry, agosto 2007. [Fecha de consulta: 15 de marzo de 2019].

Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html.

RADIO Programas del Perú. Piden intervención especial por alerta de agua con arsénico en Pacora [en línea]. Radio Programas del Perú - RPP. 22 de octubre de 2018. [Fecha de consulta: mayo de 2019].

Disponible en: <https://rpp.pe/peru/lambayeque/piden-intervencion-especial-por-alerta-de-agua-con-arsenico-en-pacora-noticia-1158346>

RAMIREZ, Augusto. Occupational and environmental exposure to arsenic bibliographical update for research. *Anales de la Facultad de Medicina* [en línea]. vol. 74, no. 3, setiembre, 2013. [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2019].

Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832013000300014

ISSN 1025-5583.

SIEMBRA y Cultivo de Tara: Siembra y/o almacigo de la Tara. [en línea] Robel, Carlos. Blog. (07 de 02 de 2012). [Fecha de consulta: junio 2019].

Disponible en: <https://siembraycultivodetara.blogspot.com/2012/02/siembra-yo-almacigo-de-la-tara.html>.

SANABRIA, Noemí. Extracción de goma a partir de semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*) y evaluación de sus propiedades reológicas. Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2011.

SCHNITZER, Yael. Contaminante cancerígeno acecha a Arica [en línea]. El mostrador, 10 de Setiembre de 2010. [Fecha de consulta: mayo 2019].

Disponible en: <https://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2010/09/10/arsenico-la-amenaza-sanitaria-que-acecha-a-arica/>.

TRELLES, Jesus. Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomasas vegetales inertes. Tesis (Magister en Ciencias con Mención en Tratamiento de Aguas y Reúso de Desechos) Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. 95 pp.

TROFELLI, Federico. Uno de cada diez argentinos toma agua contaminada con arsénico [en línea]. Tiempo Argentino, 04 de Julio de 2010. [Fecha de consulta: mayo de 2019].

Disponible en: <https://www.tiempoar.com.ar/>

ANEXOS

Anexo 01. Galería Fotográfica



Kit de Arsenic test MQuant™ utilizado en las pruebas



Biomasa de Goma de *Caesalpinia spinosa*



Ácido Nítrico al 65% utilizado para conservar la muestra



Solución de Hidróxido de Sodio 1M para elevar el pH de la muestra



Toma de muestra de agua de pozo en el centro poblado Cruz del Médano en el Distrito de Mórrope



Bidones de 25 L almacenadores de la muestra



Determinación de pH y Temperatura del grupo control



Determinación de la concentración de Arsénico del grupo control



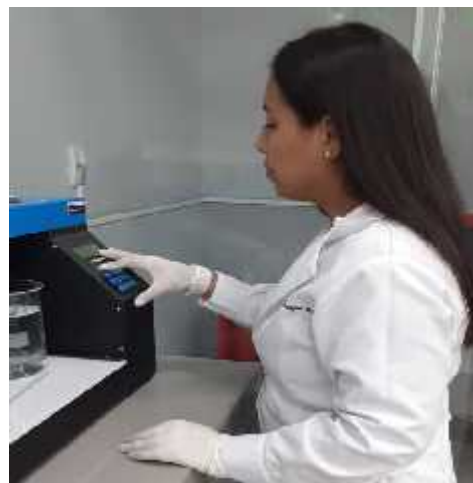
Pesado de 1 g de biomasa para cada prueba



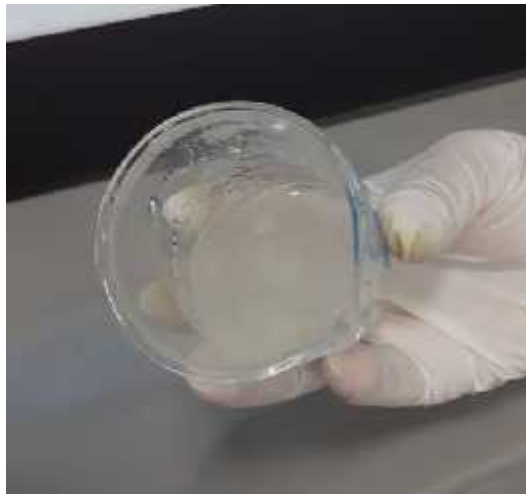
Preparación de la muestra a pH 4, 6 y 8, agregando NaOH 1M



Regulación de temperaturas a 35 °C y 50 °C.



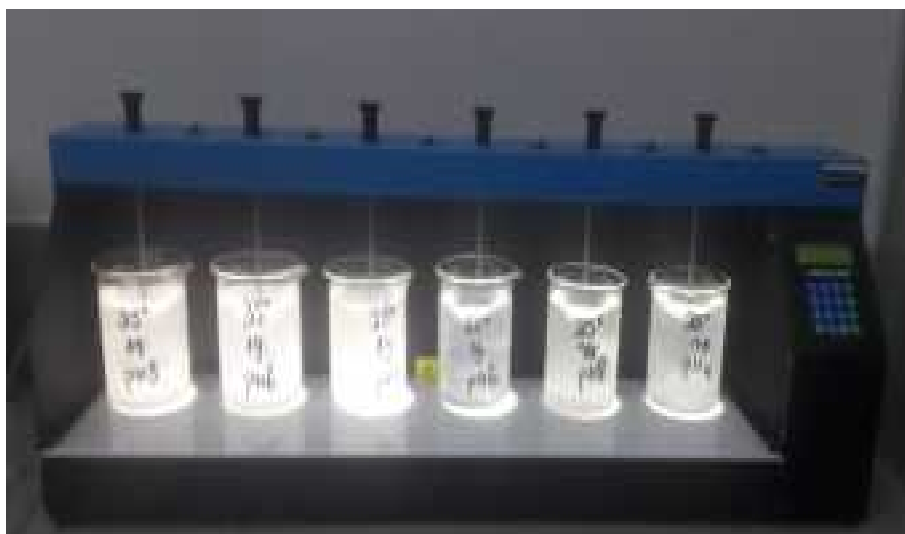
Programación de las revoluciones en el equipo de Prueba de Jarras



Preparación de la goma de *Caesalpinia spinosa*



Mezcla de la biomasa con la muestra de agua



Tratamiento a diferentes revoluciones (200/100, 160/80 y 120/60)



Filtración de la muestra tratada utilizando la bomba al vacío y papel filtro de 47 μm



Determinación de la concentración de Arsénico después de la muestra tratada



Dos gotas de solución de zinc agregado directamente a la muestra tratada



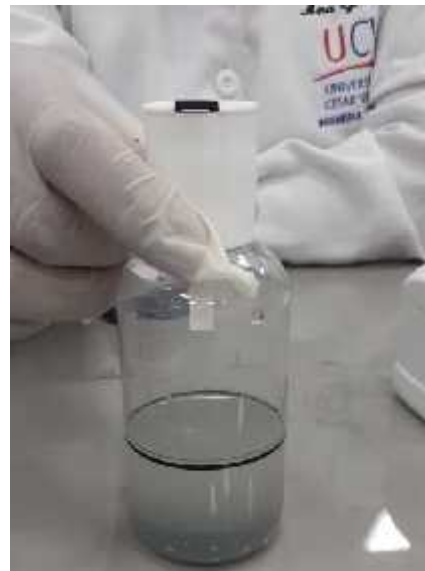
Cucharilla roja, dosificadora de As_2 el cual contiene ácido malónico



Cucharilla verde, dosificadora de As_3 el cual contiene zinc liberando gas arsina



Cinta Colorimétrica con bromuro de mercurio encargada de determinar la concentración de Arsénico



Reposo de 30 min. Para visualizar los resultados



Resultado de una muestra tratada

Anexo 02. Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INDICE
Adsorción de arsénico	<p>El arsénico es un metaloide que se puede encontrar en el aire, suelo y agua de forma natural o antropológica.</p> <p>En cuanto a la adsorción de arsénico, se hace referencia a la cantidad o proporción de este metal que se ha removido o eliminado en el agua.</p>	<p>Se realizarán análisis del agua contaminada antes, durante y después de la aplicación de la <i>Caesalpinia spinosa</i>, para determinar el porcentaje de adsorción de arsénico logrado después del tratamiento.</p>	concentración	mg/L
pH	<p>El pH hace referencia a la concentración de iones de hidrógeno existentes, indicando si la medida es ácida o alcalina.</p>	<p>Se realizan tratamientos para la remoción de arsénico en diferentes pH, velocidades de agitación y temperaturas utilizando la goma de <i>Caesalpinia spinosa</i>, en busca de los resultados más eficientes.</p>	Revoluciones	rpm
Velocidad de agitación	<p>La velocidad de agitación se da cuando un fluido adquiere movimientos giratorios dentro de un recipiente a través de un agitador.</p>		Tiempo de Contacto	min.
Temperatura	<p>La temperatura es la magnitud que se encuentra relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico.</p>		Temperatura	°C

Anexo 03. Resultados de Análisis



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA

USUARIO : Garnique Reluz Ana Claudia Jeraldine

Reyes Jurupe Erika

TIPO DE ANÁLISIS : Físicoquímico

N° DE MUESTRA : 01

TIPO DE MUESTRA : Agua Subterránea

FECHA DE EMISIÓN : 28 de Octubre

MUESTRA	pH	TEMPERATURA (°C)
Agua de Pozo	8.486	27

Nota: La muestra fue tomada por el usuario, el laboratorio no se responsabiliza.

UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

Ing. Diana Karolins Quiroz Incio
Laboratorio de biotecnología y microbiología

CAMPUS CHICLAYO
Carretera Chiclayo Pimentel Km. 3.5
Telf.: (074) 481616 / Anexo: 6514

fb/ucv.peru
@ucv_peru
#saliradelante
ucv.edu.pe



LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA

USUARIO : Garnique Reluz Ana Claudia Jeraldine
Reyes Jurupe Erika

TIPO DE ANÁLISIS : Físicoquímico

N° DE MUESTRA : 01

TIPO DE MUESTRA : Agua Subterránea

FECHA DE EMISIÓN : 28 de Octubre

Dosis de Masa (g)	N° de Muestra	Mezclas (5 min/20 min) rpm	pH	Temperatura (°C)	Equipo
	1			25	
	2	200/100	4	35	
	3			50	
	4			25	
	5	160/80	6	35	
	6			50	
	7			25	
	8	120/60	8	35	
	9			50	
	10			25	
	11	200/100	4	35	
	12			50	
	13			25	
1	14	160/80	6	35	PRUEBA DE JARRAS
	15			50	
	16			25	
	17	120/60	8	35	
	18			50	
	19			25	
	20	200/100	4	35	
	21			50	
	22			25	
	23	160/80	6	35	
	24			50	
	25			25	
	26	120/60	8	35	
	27			50	