



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EFICIENCIA DE VAINA DE *Phaseolus vulgaris* Y  
CÁSCARA DE *Citrus sinensis* EN LA  
BIOSORCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA DEL  
RÍO MOCHE”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

- Annie Jocelyn Gutiérrez de la Cruz  
- Yanela Rosibel Ibañez Arteaga

Asesor:

Luis Enrique Alva Díaz

Trujillo - Perú

2020

## DEDICATORIA

A mis padres Ramiro y Marleny que son mi motor y motivo, que siempre creyeron en mí, que me alentaron a perseguir cada uno de mis sueños, y a pesar de la distancia siempre estuvieron conmigo apoyándome en cada decisión, a mis hermanos Kevin y Deyvi porque son mi fortaleza, por sus palabras de aliento y por la mil y una sonrisa que me sacaron cuando sentía que no podía más.

Yanela

A mis padres Walter y Diva, por su apoyo incondicional, motivación y por depositar su confianza para alcanzar mis sueños y metas; y a mi hermana Cintia por su comprensión, por sus palabras de aliento y por los buenos momentos que me motivaron a seguir en el desarrollo de esta investigación.

Annie

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme fortaleza y cuidar de mí en momentos difíciles y hacer que mis sueños se cumplan, a mi familia porque desde pequeña guiaron mis pasos, y por decirme que "todo sacrificio tiene su recompensa", a mi compañera de tesis Annie y asesor, el ingeniero Alva, que con su apoyo hicieron posible este trabajo, y a mis amigos que me alentaron a seguir adelante en cada una de mis metas.

Yanela

A Dios, por brindarme fortaleza y salud, a mi familia por haberme forjado como la persona que soy, por brindarme su sabiduría en la toma de decisiones, asimismo a mi compañera de tesis Yanela, quien es parte de este logro, al ingeniero Alva y Cárdenas por su apoyo en el desarrollo de la tesis.

Annie

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .....	60
---------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estándares de calidad ambiental para aguas, y los parámetros del arsénico en ríos. D.S.004-2017- MINAM .....	31
Figura 2. Tabla. Escala valorativa del porcentaje Eficiencia Real (%EPR) de Producción alineado al cumplimiento de clase mundial. ....	35
Figura 3. Puntos de muestreo de agua del Río Moche.....	43
Figura 4. Parámetros físicos del monitoreo de agua del Río Moche, a la altura de Shorey.....	43
Figura 5. Pasos de la ubicación y recolección de la muestra de agua del Río Moche .....	44
Figura 6. Secuencia del tratamiento de la cáscara de naranja y vaina de frijol - elaboración propia.....	44
Figura 7. Secuencia del ensayo de biosorción con la cascara de naranja y vaina de frijol - elaboración propia.....	46
Figura 8. Estándares de calibración en función a la solución de As, Trelles (2013) .....	49
Figura 9. Curva de Calibración para la lectura de Arsénico en la muestra de agua del río Moche - Elaboración propia .....	50
Figura 10. Secuencia del procedimiento de análisis de muestra - Elaboración propia .....	51
Figura 11. Combinaciones para la prueba de biosorción de la vaina de Phaseolus vulgaris. Elaboración propia.....	53
Figura 12. Combinaciones para la prueba de biosorción de la cáscara de Citrus sinensis. Elaboración propia.....	53
Figura 13. Resultados iniciales y finales del proceso de Biosorción de arsénico con la vaina de frijol (Phaseolus vulgaris) y la cáscara de naranja (Citrus sinensis) .....	54
Figura 14. Gráfica de probabilidad normal de concentración de As del agua del río Moche. ....	56
Figura 15. Gráfica de caja de concentración de As del agua del río Moche para determinar cómo influye el tipo de Biosorbente en el proceso de biosorción. ....	57
Figura 16. Gráfica de dispersión de Concentración de As vs Tiempo de Contacto en el proceso de biosorción del agua del río Moche. ....	58
Figura 17. Gráfica de dispersión de Concentración de As vs. Velocidad de Agitación .....	59
Figura 18. Gráfica de probabilidad normal de porcentaje de biosorción de arsénico del agua del río Moche .....	61
Figura 19. Gráfica factorial de los efectos principales en la concentración de As del agua del río Moche estadísticamente.....	62
Figura 20. Gráfica factorial de la interacción entre los factores en la concentración de As del agua del río Moche estadísticamente.....	63
Figura 21. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, para determinar la significancia de cada factor. ....	64

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Capacidad de remoción del metal .....	25
Ecuación 2: Ecuación del porcentaje de biosorción de Arsénico .....	51

## RESUMEN

Esta investigación determinó la eficiencia de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en la biosorción de arsénico del agua del río Moche, usando los métodos volumétricos, gravimétricos y de espectrofotometría. Para ello, se utilizó 400 ml de agua del Río Moche, a una concentración inicial ( $C_i$ ) de 7.058 mg/L de As, con 5, 7 y 10 g de cada biosorbente, usando el equipo de test de jarras a una velocidad de agitación de 80 y 100 rpm, por un tiempo de contacto de 120 y 180 min. Obteniendo que el porcentaje de biosorción más alta para la vaina de *Phaseolus Vulgaris* es del 85% con una concentración final ( $C_f$ ) de As de 1.058 mg/L, y, el porcentaje más alto para la cáscara de *Citrus sinensis* es del 88.96% con una concentración final ( $C_f$ ) de As de 0.779 mg/L, ambas con condiciones óptimas de 120 min, 80 rpm y 5g. Concluyendo que la cáscara de *Citrus sinensis* es la más eficiente en la biosorción de arsénico con 88.96%, asimismo, la vaina de *Phaseolus vulgaris* es eficiente en un 85%, evidenciándose, que ambas biomasas tienen eficiencia por biosorber más del 50% de arsénico del agua del río Moche.

**Palabras clave:** Biosorción de arsénico, cáscara de *Citrus sinensis*, vaina de *Phaseolus vulgaris*.



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En los últimos años, la contaminación ambiental se ha vuelto uno de los temas en debate para el desarrollo de la vida, sin embargo, a través del ingenio y la ambición del ser humano se ha logrado el desarrollo de actividades industriales, mineras, agrícolas, que buscan la mejora económica en los países, por lo que han logrado degradar la mayor parte de los recursos naturales, por medio de la degradación de suelos y alteración de sistemas hídricos, poniendo en peligro la supervivencia en el planeta. Es así como, los seres humanos han provocado el deterioro de los ecosistemas para cubrir sus necesidades de crecimiento; asimismo, existen conocimientos que demuestran que los recursos naturales no son ilimitados por lo que su consumo está poniendo en peligro la vida de todos los seres vivos (Gonzales, 2002 p.1).

Por lo que, uno de los recursos más vitales como el agua, se está degradando; en los ríos, lagos, lagunas, playas y mares se han vuelto depósitos de una mezcla de sustancias nocivas para cualquier ser viviente. Es importante señalar que el agua es un recurso necesario para las actividades y por ende en el desarrollo de la comunidad, sin embargo, depende de esas mismas actividades la calidad en que se mantiene. Además, la tasa de contaminación del agua puede ser estimada en 2000 millones de metros cúbicos diarios según la Organización de las Naciones Unidas (citado por Reyes, et al. 2016 p.66). Una de las actividades más usuales, por las que el agua se encuentra contaminada, son la minería y la agricultura, ambas generan metales pesados, estos, son altamente perjudiciales, para todo ser vivo.

En consecuencia, la mayoría de los metales pesados se originan de fuentes antropogénicas como desechos domésticos, agrícolas e industriales, constituyendo un peligro para la vida, y siendo un factor de deterioro ambiental (Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, y Borbón, 2012, p .31). Uno de los metales pesados con mayor importancia y peligrosidad es el arsénico, que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre, o es producido dentro de diversas industrias. La minería, la fundición de metales ferrosos, la combustión de combustibles fósiles son las principales actividades que generan arsénico como lo argumenta Popovic et al (citado por Wang y Mulligan, 2005, p.704).

Tal es el caso, que en Bangladesh más de 30 millones de personas se encuentran amenazadas de ser contaminadas por altos contenidos de arsénico en agua, esto se origina por el contenido de dicho metal en las rocas de la cuenca del río Brahmaputra, que bombea agua a la superficie para ser utilizada por la población (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, 2006, párr.1). Por otro lado, se encuentra Estados Unidos, en donde se estima que dos millones de personas están bebiendo agua de pozos con alto contenido en arsénico, 10  $\mu\text{g/L}$ , los estados más contaminados son Washington, Oregon, Nevada, California, Nuevo México, Arizona, entre otros (Sandee LaMotte, 2019, párr.19-23). En México, la Comarca Lagunera también se encuentra con concentraciones de este metal pesado, por la explotación del agua subterránea, lo que viene afectando a miles de personas, pues su contenido es de 740  $\mu\text{g/L}$ . (Rangel, Montañez, Luévanos y Balagurusamy, 2015, pp.107-108).

En Sudamérica, Argentina en sus ríos Reconquista y Riachuelo presentan metales pesados, debido a que más 12 mil industrias utilizan a estos como depósitos de basura (Federovisky, 2019, párr.7-10). De la misma manera, Brasil se encuentra

contaminado por el mismo metal, en suelos y aguas subterráneas; debido a la actividad minera en lugares como Ouro Preto, Santa Bárbara y Nova Lima en Minas Gerais, según Gardenal (citado por Galetovic y De Fernicola, 2003, párr.27). En Chile, 83 localidades se encuentran contaminadas con arsénico, con niveles en el que el agua alcanzó el umbral de 10  $\mu\text{g} / \text{L}$ , valor fijado por la Organización Mundial de la Salud; y que, desde 1950 con la actividad minera aumento los niveles de este metal (Montes y Cárdenas, 2019, párr.8)

Dado el caso, el agua es vital para el desarrollo de la vida; el Perú cuenta con una gran reserva de este elemento, sin embargo, por las diferentes actividades se ha logrado contaminar la mayor parte de los ríos. Como se evidencia en estudios de DIGESA y SEDAPAL que encontraron en el río Rímac cerca de 50  $\mu\text{g}/\text{L}$  de arsénico en los años de 1997- 2004 (Gonzales et al, 2014, p.549). Es así que, en la región La Libertad, la cuenca del Río Moche, comprendida por las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán; con una extensión de 2 708  $\text{km}^2$  y descarga un volumen medio anual 154.587 millones de metros cúbicos de agua, siendo los meses de febrero a abril período de avenida; los meses de junio a diciembre corresponden al período de sequía y los meses restantes corresponden al período de transición (Municipalidad Provincial de Otuzco, 2009, p.3); se encuentra contaminada por diferentes metales.

Debido a la actividad minera en el río Moche, en los últimos 10 años se ha incrementado como resultado de los relaves mineros que son vertidos a los ríos y lagunas (Gonzales, 2012, p.185). En el que está contaminado con mercurio, cadmio, plomo, cobre y arsénico (Gonzales, 2010, p.2). Es así como, en esta Cuenca, son 63 puntos de fuentes contaminantes, en el que, se identificó un vertimiento de aguas residuales proveniente de actividades mineras de la Planta de

concentración de minerales- Virgen de la Puerta, en Motil, y la de un pasivo ambiental minero en el Centro Poblado de Samne, afectando la calidad de terrenos agrícolas de la zona y del recurso hídrico (Autoridad Nacional del Agua, 2015, p.16).

De la misma forma, en la cuenca del río Moche, la minera Quiruvilca, es la principal empresa dedicada a actividades mineras, sin embargo, a finales del año 2017 cerró todas sus operaciones, por lo que ha habido un aumento de la minería informal; ante estas circunstancias, Shorey atraviesa problemas de contaminación, debido a la presencia de aguas ácidas y caída de relaves mineros según “el Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Moche como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A.” (2018, p.58). Ante esta situación, se busca contrarrestar las concentraciones de arsénico en el agua del Río Moche, a través de la incorporación de métodos ecológicos, como lo es la biosorción, mediante la captación de iones metálicos que permite la reutilización de residuos contaminantes.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, la contaminación de aguas es un problema que viene ocurriendo hace muchos años, debido a diferentes actividades productivas que realizan las poblaciones para generar ingresos económicos, tal es la minería y agricultura; que a través de la generación de metales pesados influyen en el agotamiento de las fuentes hídricas para el consumo humano, el regadío, procesos industriales, y otros; es así como el presente proyecto busca determinar la eficiencia entre la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en la biosorción de arsénico de agua del Río Moche, por ser una solución en el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados y por considerar a dicha

zona como una de las más contaminadas de la región La Libertad, contrarrestando los efectos provocados.

El estudio resulta tener una escala valorativa alta, validez y confiabilidad en cada uno de los procesos que se llevó en esta investigación, desde el recojo de muestras de agua, el analizarlas, hasta determinar el tiempo de contacto y la velocidad de agitación para establecer la eficiencia entre la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* con el método de biosorción, puesto que, se tomó como base diferentes investigaciones y metodologías de experimentación, que permitieron relacionar las variables a trabajar y de esta manera posibilitará encausar posteriores investigaciones relacionadas con la contaminación de agua por arsénico.

Esta investigación se realiza al existir la preocupación del desarrollo de las comunidades que se encuentran a lo largo de la cuenca, en todos sus aspectos, económico, social y ambiental, en el hecho de que las generaciones futuras no puedan gozar plenamente de una buena salud y un ambiente limpio, así como de la necesidad de reducir la contaminación de agua por arsénico del río Moche, ya que está considerada como una de las zonas más contaminadas, utilizando una tecnología eco-amigable, en el que el uso biomasa ayudan en la sorción de metales pesados, disminuyendo sus efectos y mejorando la situación actual que vive toda la población de la cuenca del Río Moche.

Finalmente tiene un aporte significativo, debido a que, esta investigación cuenta con todas las características que ayudan a disminuir las concentraciones de arsénico, así como, mejorar la calidad de agua y la calidad de vida en esta zona, puesto que, los pobladores podrán utilizar el agua para su propio consumo, para regadío de plantas, mejoramiento de la agricultura y realizar otras actividades, por

lo que se obtendrá un desarrollo sostenible en la parte alta de la cuenca, logrando articularla para el beneficio de toda la población.

Según los antecedentes internacionales en México, Cardona, Cabañas, y Zepeda (2013), en su tesis “Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)” evalúa la capacidad de biosorción de la cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados. Para ello, en el tratamiento 1 aplicó la eliminación de humedad y en el tratamiento 2 se realizó por reticulación. En los resultados, el experimento 4 mostró el mejor porcentaje de remoción de Pb (II) con el 99.5% y en el experimento 3 el mejor porcentaje de remoción de Zn (II) fue de 99.5%. En conclusión, se alcanzó un porcentaje de remoción de Zn (II) de 99.5 % y la mejor capacidad de remoción fue de 9.94 mg de Zn (II)/ g de cáscara de naranja, y para el Pb (II) el mayor porcentaje de remoción fue 99.5% y la mejor capacidad de remoción fue de 9.39 mg de Pb (II)/ g de cáscara de naranja. Este trabajo ayuda en la propuesta de manipulación de la cascara de naranja, para realizar biosorción de metales pesados.

Simultáneamente, en la tesis realizada por Vera y Moreno (2014), “Remoción de arsénico del agua residual industrial de proceso mediante el método de bioadsorción”, tuvo por objetivo determinar la eficacia de la cáscara de naranja para la remoción de arsénico del agua residual industrial de proceso. Los resultados arrojaron que el tratamiento más eficiente es con el pH = 5.5, tamaño de partícula = 0.4 mm, concentración del metal = 90 ppm, cantidad de cáscara = 1 g, tiempo de contacto = 2 h, temperatura = 22 °C, con un porcentaje de remoción de 23, 49%. En conclusión, no se encontró diferencia significativa entre los

tratamientos siendo la cáscara de naranja un buen biosorbente. Esta tesis comprueba la capacidad de biosorción de la cáscara de naranja.

Además, Vázquez (2016) en su investigación “biosorción de arsénico por hoja de moringa”, tiene como objetivo usar la hoja de moringa para la remoción de arsénico, para ello utilizó tres medidas diferentes de dicha hoja (0.25, 0.50 y 0.75 g) con una duración de 30 minutos en el proceso de biosorción. En los resultados se muestra que todas las dosis de la hoja de moringa disminuyeron la cantidad de arsénico en el agua, pero, a mayor cantidad de hoja mayor disminución de As; en dónde la concentración inicial fue de 100  $\mu\text{g/L}$ , en la aplicación de 0.25 g moringa/L disminuyó a 10.13  $\mu\text{g/l}$ , con 0.50 g moringa/L se redujo a 9.8  $\mu\text{g/l}$ . Concluyó que la hoja de moringa es un gran potencial como biosorbente de arsénico. Este trabajo permite conocer los indicadores utilizados para el proceso de disminuir la cantidad de arsénico.

Otras investigaciones se realizaron en Colombia, Franco (2014) en su trabajo “Evaluación de la vaina de frijol cargamanto rojo como material biosorbente en la remoción de cadmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ) presente en soluciones acuosas”, tiene como objetivo evaluar la VFCR como material biosorbente, en la remoción de Cadmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ) presente en soluciones acuosas. Para ello usó dos niveles de concentración de cadmio, 50 y 100 ppm, dos niveles de pH, 4 y 8; con 1 g de vaina. Los resultados muestran que el porcentaje de remoción del cadmio varió de 74.5 a 91.7%, y el punto óptimo se obtiene a pH 8 y concentración inicial de 50 ppm  $\text{Cd}^{2+}$ . Además, su capacidad de biosorción es de 2,292 mg/g la cual corresponde al 91.7 %. Sus conclusiones determinan que la vaina de frijol cargamanto rojo es potencialmente útil para la remoción de metales. Esta investigación confirma su alta capacidad de biosorción de dicha vaina de frijol.

También, Vizcaíno y Fuentes (2014), en su tesis “Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna”, tiene por objetivo disminuir la concentración de Cd, Pb y Zn mediante el diseño de un sistema que evalúa su remoción empleando biomasa de algas rojas, cáscaras de naranja (*Citrus Sp.*) y tuna guajira (*Opuntia Sp.*). Para ello analizaron cuatro muestras de efluentes residuales, y recibieron un pretratamiento con sodio y calcio, utilizando 10 g de alga y 30 g de naranja y tuna. Teniendo como resultados que el alga tiene una afinidad por el Cd, la naranja tiene mayor capacidad de adsorción para Pb y la tuna es más eficiente en la remoción de Zn. Concluyendo que se obtuvo una eficiencia similar de las tres biomásas para remover Cd y Pb, con promedios superiores al 95%, mientras que el Zn se removió con mejor eficiencia (62%) al emplear tuna modificada como sorbente.

Con la misma nacionalidad, Estupiñan (2014) en su investigación “Evaluación de la vaina de frijol como material adsorbente en un sistema que opera en modo semibatch para la remoción de cadmio ( $Cd^{+2}$ ) presente en soluciones acuosas” tiene como objetivo evaluar la vaina de frijol como material adsorbente en un sistema que opera en modo semibatch para la remoción de cadmio ( $Cd^{+2}$ ) presente en soluciones acuosas. En donde realizaron 13 experimentos con diferentes caudales (rango de 1.38 - 5.62 ml/min) y los resultados muestra el porcentaje de remoción de cadmio que varía entre 81.3%, con una altura de 5 cm y un caudal de 5 ml/min, a 89.19%, con una altura de 11.04 cm y un caudal de 3.5 ml/min. Concluyeron que a mayor altura del material en la columna mayor es el tiempo de ruptura. Este trabajo ayuda a determinar las características biosorbentes de la vaina de frijol.



Asimismo, Tejada, Tejada, Marimón y Villabona (2014) “Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* y *Musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución”, describió la adsorción de iones de Cr (VI) sobre la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*). Realizó un análisis elemental (CHON) para garantizar la presencia de elementos propios de un material lignocelulósico y espectroscopia de infrarrojo. La remoción de los iones de Cr (VI) es 66.6 y 93 ppm para la cáscara de naranja. Concluyendo que el estudio de cinética de adsorción de la cáscara de naranja como la de plátano tienen 2 centros activos de adsorción que serían los grupos hidroxilo y carbonilo. Este trabajo permite conocer las características elementales de la cáscara de naranja.

De esta manera, Tejada, Herrera y Núñez (2016) en su proyecto de investigación “Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*)”, realizó una comparación entre las biomasa, para encontrar la eficiencia de porcentaje de remoción y su capacidad de adsorción. Para ello, aplicaron el modelo de Freundlich y Langmuir, determinando, que, para el zuro de maíz, cáscara de naranja, y cáscara de naranja modificada con  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{NaOH}$ , el modelo con eficiencia es Freundlich. Asimismo, el % de remoción con la cáscara de naranja fue de 99.4 modificado con  $\text{NaOH}$  y  $\text{CaCl}_2$  y sin modificación un 98%. Concluyendo que con respecto a su capacidad de adsorción el de mejor resultados es de la cáscara de naranja sin modificación. Este trabajo, ayuda en las características de naranja.

Por otro lado, en Ecuador, Ríos (2014) en su tesis “Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo” determina la cinética de bioadsorción de arsénico utilizando como adsorbente la cáscara de banano maduro en polvo. Es así que utilizó diferentes cantidades de biomasa de 4, 8, 12 y 16 g/L

y tamaños de biomasa con 400 y 841  $\mu\text{m}$  con una concentración de arsénico de 50 ppm. Los resultados presentan que el mayor porcentaje de bioadsorción fue el de 99.7% con una biomasa de 8 g/L con tamaño de partícula de 250  $\mu\text{m}$ . Concluyó, que la cáscara de banano maduro en polvo puede ser utilizado como un bioadsorbente para la disminución de la concentración de metales con una eficacia de hasta 99.7 %. Este trabajo permite tener en cuenta los indicadores utilizados para la medición de la concentración de arsénico.

Además, Ordoñez (2015) en su investigación “Bioadsorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) molida, Machala”, tiene como finalidad determinar la capacidad de bioadsorción de metales pesados como el plomo (Pb) y el cromo (Cr) por la cáscara de naranja, que contiene un alto contenido de carbono (42,70%) lo cual favorece a la bioadsorción. Para ello se usó 2 tamaños de partícula (400  $\mu\text{m}$  y 800  $\mu\text{m}$ ) y 4 cantidades de biomasa (4, 8, 12 y 16 g/L), además el proceso se llevó a cabo con los reactores Bach. En los resultados se muestra un 99,73% de porcentaje de bioadsorción para el plomo y para la bioadsorción de cromo un 91.60%. Se concluye que la cáscara de naranja molida presenta un gran potencial para la remoción de plomo y cromo, debido a los grupos funcionales. Este trabajo aporta en el proceso de la biosorción por la cáscara de naranja.

En la India, Sidhu, Sama, Parmar y Bhatt (2014) en su investigación “Biosorción de Arsénico (III) del agua potable mediante el uso de biosorbentes de bajo costo derivados de las cáscaras de naranjas, nabos y maní”, busca eliminar del agua potable el arsénico (III) mediante biosorbentes: cáscaras de naranja, de nabo y de maní, con una dosis de 1 g, siendo la concentración de As (III) de 173 mg/ 100 ml. Los resultados mostraron que la cáscara de naranja tiene una adsorción

máxima de As del 87.77%, la cáscara de maní tiene una adsorción del 86.38% a 360 minutos y las pieles del nabo muestran una adsorción máxima de 81.73% a 330 minutos. Concluyeron que las cáscaras de naranja, nabo y maní son eficientes en la adsorción de arsénico en agua. Esta investigación comprueba la eficiencia de la absorción de la cascara de naranja.

En los antecedentes nacionales, los investigadores Huaranga, Méndez, Quilcat, y Huaranga (2012) en su trabajo “Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980-2010, La Libertad- Perú” realizaron muestreos en 8 puntos diferentes a lo largo del Río Moche. Los resultados mostraron que en 1980 la mayor concentración se presenta en la parte alta con los metales: Fe con una concentración de 557.5 mg/L, el Pb con 100.375 mg/L, el Cd de 4.550 mg/L, el Zn, con 262.9 mg/L, y el As presenta 9 mg/L en la parte alta, además, el Cu tiene un valor de 6.9 mg/L en 1990. En conclusión, la mayor concentración de metales pesados del agua se presentó en la cuenca alta y el Fe fue el metal de mayor concentración. Esta investigación ayuda a tener referencia acerca de la concentración de arsénico en la cuenca alta del Río Moche.

Asimismo, en la tesis realizada por Trelles (2013) “Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes”, se utilizó sistemas en lote, métodos volumétricos, gravimétricos, y de voltametría. Los resultados muestran que las especies con mayor valor son las vainas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) con 78.9% de remoción, la cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) con 77 % y los granos de cebada (*Hordeum sativum*) con 74%. Concluyeron que los porcentajes de remoción máximos se dieron para las muestras de cáscaras de frijol, cascarilla de arroz, granos de cebada, y que la capacidad de remoción se ve afectada por la masa de biosorbente y la concentración inicial de arsénico. Este estudio es

relevante puesto que ayuda a tener referencia de los métodos utilizados para determinar la biosorción de arsénico.

Conjuntamente, en el siguiente artículo de Liñan (2016) “Remoción de arsénico en agua por raíces de cebolla, *Allium cepa*, bajo condiciones de laboratorio”, buscan determinar la capacidad de remoción de las raíces de cebolla sobre el arsénico en medio acuoso, por lo cual utilizaron tres concentraciones de este metal (0.1, 0.2 y 0.4 mg/L) y 150 g de bulbos de cebolla. En los resultados se muestra que la mayor remoción fue a los 6 días de exposición en la concentración de 0.1 mg/ L de arsénico con una remoción del 67%, en la concentración de 0.2 mg/L sufrió una remoción del 28.5% y en la concentración del 0.4 mg/L se removió el 4.25%. Concluyeron que las raíces de *A. cepa* remueven más del 50% de arsénico en agua en la concentración de 0.1 mg/L. Esta investigación permite conocer las concentraciones iniciales de arsénico y la cantidad removida.

Alvarado (2017), en su tesis “Efecto del tiempo de residencia y tamaño de partícula en la reducción de plomo mediante bioadsorción con *Citrus sinensis* en efluente minero del C.P. Tambillo – Cajamarca, 2017”, la realizó con diferentes tiempos de residencia a 1, 2 y 3 horas y tamaños de partículas a 0.4, 0.6 y 0.8 mm y una concentración inicial de 98.93 ppm de Pb. La reducción de Pb a 1 hora y 0.4 mm de tamaño de grano de *Citrus sinensis* fue de 95.12% (4.83 ppm Pb) y a medida que el tiempo de residencia aumenta y el tamaño de partícula disminuye, la reducción de plomo aumenta, siendo una recuperación de 99.73 % (0.27 ppm Pb) del parámetro de 2.0 horas y 0.4 mm de tamaño de partícula de cáscara. Se concluyó que el tiempo óptimo en la reducción de Pb de efluentes mineros el cual fue de 99.73 % a 2 horas de tratamiento. Este trabajo colabora que la cáscara de naranja funciona como biosorbente.

Igualmente, Ramón (2017) en su tesis “Capacidad del residuo de cebada “*Hordeum vulgare*” para la adsorción de cromo ( $\text{Cr}^{+6}$ ) en aguas contaminadas a nivel de laboratorio” tiene como objetivo conocer la eficiencia del residuo de la cebada como biosorbente en aguas contaminadas por cromo usando una dosis de cebada (1, 3, 5 g), con una concentración inicial de 77.65 mg/L, por un tiempo de 2 horas y 200 rpm de velocidad de agitación. Los resultados muestran que la cebada es un potencial adsorbente con un tamizado de 53  $\mu\text{m}$ , de dosis 1 g/L que tuvo una mayor capacidad de adsorción. El autor concluye que el tamaño de partícula es indirectamente proporcional al porcentaje de adsorción. Esta investigación permite conocer las medidas de las dosis del adsorbente, el tiempo del proceso, la velocidad de agitación, y tener en cuenta las posibles medidas para los indicadores del presente trabajo.

De esta manera, Choquejahuá (2018) en su tesis “Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomásas de granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) bajo condiciones altoandinas- Puno”, se evaluó la remoción de arsénico a través de la bioadsorción con biomásas de granos de cebada y avena en medio acuoso utilizando 1 mg/L de concentración de arsénico en solución acuosa (300 ml de As) y una concentración mínima de biomasa de 5g y máxima de 10g, a 330 minutos con pH variante de 5-8, a 200 rpm. La biomasa de avena presenta una remoción del 90.6% con biomasa de 5g y pH de 8 y ambos biosorbentes tienen una eficacia mayor al 50%. Concluyó que la avena es muy eficiente en la remoción de arsénico. Este trabajo dará cuenta del tiempo y velocidad de agitación del proceso de biosorción.

Además, Parraga (2018) en su investigación de “Eficacia de la bioadsorción mediante la mezcla de la cáscara de lima y naranja a diferentes concentraciones de

las aguas del río Rímac – Lima 2018”, su finalidad es realizar el proceso de bioadsorción para disminuir plomo de las aguas del río Rímac de Lima. Este tratamiento, se dio a concentraciones de 10 g, 15 g y 20 g y diferentes tamaños de mallas, 0.425, 1 y 2 mm, a 24 horas. Dentro de los resultados el tratamiento de la mezcla de las dos biomásas, cáscara de naranja y lima, (dosis 20 g y tamaño de partícula 0.425 mm) fue el más eficiente al reducir a un 50% de Pb; asimismo con la dosis de 15 g y 2 mm de tamaño de partícula se logró una reducción del 60.7%. Concluyendo que los tratamientos 1, 2 y 3 fueron totalmente eficaces. Este proyecto, confirma en la eficiencia de bioadsorción de la cáscara de naranja.

Por otro lado, Ccencho (2018), en su trabajo “Uso de biomasa seca (cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque, a nivel laboratorio - 2018” determinaron la concentración inicial y final absorbida, la dimensión ideal y dosis óptima, asimismo, el tiempo de contacto entre la biomasa y el agua subterránea fue de 12 horas, y con una dosis de 2.5, 5 y 7.5 g. Sus resultados muestran que la bioadsorción de arsénico con la cascara de plátano es óptima con 5 g de la biomasa; en un rango de bioadsorción de 0.1mg/L a 0.0827 mg/L. El estudio concluyó que la biomasa es eficiente en la bioadsorción de agua contaminada con As. Este trabajo, aporta en la metodología al usar y la eficiencia de la biomasa para disminuir la concentración de As.

Otra tesis nacional es de Sánchez (2018), “Biosorción de plomo y cadmio con la tusa de maíz (*Zea mays. L.*), en las aguas del Río Rímac- zona de Corcona, Huarochirí” tiene como objetivo principal evaluar la eficiencia de las biomásas mediante el proceso de biosorción de los metales mencionados, para ello, utiliza la tusa de maíz a 4 diferentes tamaños (1, 0.425, 0.3 y -0.3 mm), 4 tiempos (12, 24,

36 y 48 horas) y una dosis de 25 g de biomasa. Los resultados presentan que para la remoción el tamaño de partícula más eficiente para ambos metales es de 1 mm, y el tiempo de contacto para el Pb es de 36 horas, mientras que para el Cd es de 12 horas. Concluyó que la capacidad de biosorción del plomo fue del 60% y del cadmio 75%. Este trabajo da a conocer la capacidad de biosorción que tienen las biomazas en la concentración de metales.

Por último, en los antecedentes locales, está la investigación de Salas (2019), “Tiempo de contacto y pH de la cáscara de granadilla en la biosorción de zinc en aguas del río grande – Quiruvilca”, tuvo como muestra a 4 L de agua, siendo su concentración inicial de zinc de 238,48 mg/L, en el que utilizó un diseño experimental factorial, asimismo, trabajo con diferentes pH (6, 8 y 10) y tiempos (8, 12, 16, 20 y 24 minutos). Los resultados muestran que el pH óptimo es de 10 con un tiempo de 24 minutos y una adsorción de 0,09 mg/L de zinc, 99.96%, dichos datos de equilibrio se ajustan mejor a la isoterma de Langmuir con una adsorción máximo de 93.4579 mg/L de zinc. Concluyendo que el pH y el tiempo influyen en la adsorción de Zinc. Este trabajo aporta en la información de la influencia del tiempo de contacto.

Por otro lado en las bases teóricas tenemos:

#### **A. Biosorción**

- **Definición:**

La biosorción se refiere a modos de captación de metal no activo por biomasa (microbiana); el secuestro de metal por diferentes partes de la célula puede ocurrir a través de: Complejación, coordinación, quelación de metales, intercambio iónico, adsorción, microprecipitación inorgánica.

Los cationes metálicos son atraídos a sitios cargados negativamente en la

superficie de la célula. Un número de ligandos aniónicos participan en la unión del metal: grupos de fosforilo, carboxilo, sulfhidrilo e hidroxilo de proteínas de membrana (Volesky, 1990, p.20).

- **Características**

- La captación y liberación del metal debe ser eficiente y rápida.
- El agente biosorbente activo debe producirse a un bajo costo y debe ser reutilizable
- El material biosorbente debe tener un tamaño de partícula, forma y propiedades mecánicas deseables para su uso.
- El sorbente debe ser selectivo de metales, es deseable, para separar metales individuales específicos de una solución que contiene varias especies metálicas.
- La separación del metal del sorbente debe ser selectiva del metal (si es deseable) y económicamente factible y la pérdida del sorbente debe ser mínima.

Estas son las características de biosorción (Volesky, 1990, p.28)

- **Factores que afectan la biosorción.**

- Solución de pH: es uno de los factores que más afectan a los procesos de biosorción. El valor de este en una solución influye fuertemente no solo en la separación del sitio de la superficie de la biomasa, sino también en la química de la solución de los metales pesados. Determina la posible hidrólisis, la complejación por ligandos organizativos y/o inorgánicos, las reacciones redox, la precipitación, la especiación y la disponibilidad de biosorción de los metales. La capacidad biosortiva de los cationes metálicos aumenta al aumentar el



pH del sistema de sorción, pero no en una relación lineal. Por otro lado, un valor de pH demasiado alto puede causar la precipitación de complejos metálicos, por lo que debe evitarse durante el proceso.

- Temperatura: influye en la biosorción de iones metálicos, pero en una medida limitada y dentro de un cierto rango de valores. Los procesos de biosorción no se operan a alta temperatura debido a que aumentará el costo operacional. Las reacciones de adsorción son normalmente exotérmicas, por lo que la capacidad de biosorción aumenta con una disminución de la temperatura.
- Tiempo de contacto: La capacidad de biosorción y la eficiencia de eliminación de los iones metálicos aumentaron al prolongar el tiempo de contacto hasta alcanzar un estado de equilibrio. Este equilibrio es consecuencia de la saturación de la biomasa.
- Iones competidores presentes en la solución: Otros iones sorbibles en solución pueden competir con el ion metálico de interés para los sitios de sorción y después de la unión, el ion metálico es entonces perturbada. La inhibición depende de la fuerza de unión de los iones protagonistas de la biomasa.
- Concentración inicial de iones metálicos y de biomasa: la temperatura muestra que la concentración inicial de iones metálicos parece tener un impacto en la biosorción, con una concentración más alta que resulta en una mayor absorción de solutos. Esto se debe al hecho de que, a concentraciones de soluto iniciales más bajas, la relación entre

el número de moles de soluto y el área de superficie disponible es baja; posteriormente, la sorción fraccionada se vuelve independiente de la concentración de metal inicial.

Los factores explicados anteriormente afectan la biosorción (Sharma, 2015, pp.307-308).

- **Capacidad de remoción del metal:**

La remoción del metal se da al utilizar matraces Erlenmeyer (250 ml) con no más de 50 a 100 ml de solución de metal (V) de concentración de metal inicial conocida ( $C_i$ ). Una serie de matraces con la misma solución recibe diferentes cantidades conocidas de biomasa (M). Los matraces que contienen esta suspensión diluida se colocan en un agitador, lo que permite el tiempo suficiente para desarrollar el equilibrio de sorción. El contenido de cada matraz se filtra y el filtrado se recoge y analiza para determinar la concentración de metal final o residual (en equilibrio) ( $C_f$ ), la captación de metal (u en miligramos de metal por gramo de biomasa) se calcula de acuerdo a la formula (Ec.1) (Volesky, 1990, p.22).

*Ecuación 1: Capacidad de remoción del metal*

$$U = \frac{V(C_i - C_f)}{M} \quad \text{Ec. (1)}$$

- **Mecanismos de biosorción:**

El mecanismo de biosorción se parece al proceso de intercambio iónico con grupos funcionales (grupos amino, carboxilo, fosfato, sulfato, hidroxilo) expuestos por la pared celular, que se compone de polisacáridos, proteínas y lípidos. Los protones y los cationes metálicos

se liberan de la biomasa, y los cationes de otros iones metálicos se unen por la superficie celular, por lo tanto, la biomasa actúa como polielectrolito orgánico. En el proceso, los iones metálicos compiten con los protones por los sitios de unión y, es por ello que, el pH es el parámetro del proceso más importante. Dado que la biomasa no es un material uniforme y químicamente definido, existen algunas dificultades para modelar el proceso de intercambio iónico (Lewinski, 2006, p.314).

## B. Arsénico

- **Definición:**

Es un elemento natural muy extendido considerado metal tóxico y se encuentra en 3 diferentes estados de valencia, el primero es arsénico elemental o metálico ( $As^0$ ), el segundo es trivalente (arsénico,  $As^{3+}$ ) y el tercero es pentavalente (arsenato,  $As^{5+}$ ). Asimismo, la más tóxica es la forma trivalente (arsenito) responsable de las preocupaciones mundiales sobre los problemas de intoxicación crónica por arsénico y los arsenicales orgánicos son menos tóxicos mientras el arsénico elemental no es prácticamente tóxico (Goldman y Schafer, 2013, p.92).

- **Fuentes:**

Este metal proviene de dos fuentes, el arsénico se distribuye ampliamente en el medio ambiente y se sabe que es altamente tóxico para los seres humanos. Tanto las actividades naturales como las antropogénicas dan como resultado una importante aportación de arsénico al medio ambiente. Algunas de estas actividades incluyen procesos industriales como la minería y la metalurgia, la conservación de la madera, los

desechos urbanos e industriales y las aplicaciones de lodos de depuración y fertilizantes. El destino de Arsénico acumulado en el entorno de la superficie depende esencialmente de su retención y movilidad en el medio huésped, las aguas subterráneas del suelo, y es más vulnerable a la biota (Sarkar, 2005, pp.129-130).

- **Arsénico en el agua:**

El agua es la principal vía para la entrada de arsénico en el medio ambiente, aunque los insumos atmosféricos contribuyen de manera significativa a que se sabe que las aguas del arsénico se deben a la intemperie y la lixiviación de formaciones geológicas de gran riqueza, el drenaje de los relaves de las minas y los desechos, y las fuentes termales y Géiseres en varias partes del mundo (Sarkar, 2005, p.141).

- **Arsénico en la salud humana:**

El arsénico inorgánico, es más tóxico que el arsénico orgánico, por ende, tiene efectos en la salud, epidemiológicamente se asocia con el cáncer a la piel, al consumir agua contaminada, otra consecuencia es en los pulmones generando cáncer al pulmón al inhalar el metal en el medio laboral. También existen estudios que muestran que al tener contacto con el arsénico se produce el cáncer de vejiga, de riñón y de hígado, intoxicaciones agudas que producen enfermedades gastrointestinales, cardiovasculares y neurológicas y las intoxicaciones crónicas, aparecen con hiperpigmentación, dermatitis exfoliativa e infecciones a la laringe o bronquitis, hasta provocar la muerte (López y Macaya, s.f., 631).

### C. Bases ambientales

- **Impacto Ambiental:**

Es un conjunto de posibles efectos causados por obras, actividades o procesos tanto humanos como naturales, originando una alteración significativa a los ecosistemas naturales y transformados y de sus recursos, provocada por acciones humanas (Moreno y Chaparro, 2008, p.21). En el ambiente se da tres facetas sucesivas, la primera, la modificación de algunos de los factores ambientales o del conjunto del sistema ambiental, seguida por la modificación del valor del factor alterado o del conjunto de dicho sistema y por último, la interpretación ambiental de las modificaciones, esta faceta se relaciona con la anterior. Además, el impacto se evalúa por la diferencia entre la evolución en el tiempo del entorno, o alguno de los factores que lo constituyen, en ausencia de la actividad causante y la que está en presencia de esta; el impacto queda representado por el espacio que separa el “con” y “sin” la acción humana causante (Gómez y Gómez, 2013, pp.155-156).

- **Desarrollo Sostenible:**

El desarrollo sostenible ofrece un sistema ecológicamente sano, económicamente viable y socialmente justo (Rodríguez. A., 1998 citado por Blanco, 2004, p. 14) que reta a la sociedad a cambiar sus hábitos destructivos por promover la protección del ambiente y su población. (Blanco, 2004, p. 15). En los que intervienen tres factores indispensables, el primero la sostenibilidad ecológica, que hace referencia a la utilización responsable de los recursos naturales y al mantenimiento de la capacidad de uso de los ecosistemas. El segundo, la sostenibilidad social, que se refiere a la participación de la población para garantizar una buena

educación, salud y otras condiciones que son esenciales en la vida. Y por último, a la sostenibilidad económica, que garantiza que las interacciones que se hagan con los recursos naturales beneficien a los implicados en los sistemas productivos (Blanco, 2004, p.16).

- **Desarrollo sustentable**

Es el proceso para conseguir el equilibrio entre una comunidad y su ambiente para satisfacer sus necesidades, sin embargo, en la actualidad el ser humano tiene diferentes actividades de manera consciente o inconsciente que destruye el ambiente. Los principios que rigen la sustentabilidad, es que en la naturaleza todo se recicla, no se acumula; que el desarrollo de los organismos se relaciona al uso de los recursos naturales y que la biosfera es la evolución de los seres vivos, y por su forma de organización sustentan una mejor funcionalidad. Asimismo, este desarrollo no solo busca el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, sino, también aumenta la habilidad de cada una, para construir su propia visión del futuro, en el que implica la educación, el empleo, la alimentación, el ambiente sano, la justicia, la libertad entre otros aspectos (Estrella y Gonzales, 2014, pp. 4-9).

#### D. Normativa ambiental

- **Ley General del Ambiente – Ley N°28611:**

Instaura los principios básicos para asegurar y mantener un ambiente equilibrado que permita el desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a la protección de este, con el objetivo de conseguir un desarrollo sostenible de la población. De la misma manera, detalla que el estado es el encargado de controlar y promover el aprovechamiento sostenible de

las aguas continentales, viendo acerca de sus condiciones, entorno, calidad y asignación en cuanto a sus objetivos sociales, mediante la gestión integrada del recurso hídrico.

- **Ley de Recursos Hídricos- Ley N°29338**

Su objetivo es estandarizar el uso y gestión del agua, en el que se le tiene que dar un valor sociocultural, económico y ambiental, por lo que debe cuidarse para mantener el equilibrio. Es por ello, que crean Sistemas y autoridades nacionales (Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, Autoridad Nacional del Agua) que ayudan a concretar los procesos de gestión y conservación de los recursos hídricos en los espacios de cuencas, de coordinación entre entidades públicas y actores implicados. Por otro lado, hace hincapié en la declaratoria de estados de emergencia de recursos hídricos, que es una medida que se da cuando existen eventos hidrológicos extremos, situaciones de riesgo para la calidad del agua o que necesiten de acciones inmediatas para aminorar sus efectos.

- **Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales:**

Es un instrumento que normaliza los criterios y procedimientos para realizar el monitoreo de calidad de los recursos hídricos, para todo tipo de fuentes hídricas, ya sean continentales (ríos, lagos, quebradas, etc.) o marino costeros (playas, estuarios, manglares, etc.).

- **Estándares de calidad ambiental del arsénico en agua:**

El Decreto Supremo N°004-2017-MINAM “Aprueban estándares de calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones

complementarias” en donde determinan el nivel de concentración de arsénico que tiene que tener las aguas superficiales, para ello, se ubica en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, y subcategoría E2: ríos; en donde el valor límite de concentración de arsénico para ríos de la costa y sierra es de 0.15 mg/L.

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0.64	0.64	0.64	**	**
Arsénico	mg/L	0.15	<b>0.15</b>	0.15	0.036	0.036
Bario	mg/L	0.7	0.7	1	1	**
Cadmio disuelto	mg/L	0.00025	0.00025	0.00025	0.0088	0.0088
Cobre	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05

Figura 1. Estándares de calidad ambiental para aguas, y los parámetros del arsénico en ríos. D.S.004-2017- MINAM

- **Resolución Jefatural N°196 – 2018- ANA: Declaran el Estado de Emergencia de recursos hídricos por inminente riesgo de afectación de la calidad del agua del río Moche:**

Emite la declaración de emergencia de recursos hídricos del Río Moche, en el que la Administración Local de Agua Moche-Viru-Chao, realizó previamente supervisiones al vertimiento de aguas residual industrial tratada de la Compañía Minera Quiruvilca, y siete (07) monitoreos de la calidad del agua del río Moche, estos resultados indican concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc y sulfatos que superan los valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA para agua) para la Categoría 3. Esto se produjo por el rebose de agua de subdrenaje de la relavera Santa Catalina



que llega al río Moche, además del abandono dicha unidad de producción, lo que generó un impacto ambiental negativo sobre las aguas, quedando sin tratamiento las aguas ácidas provenientes.

#### **E. *Phaseolus vulgaris*.**

- **Definición**

Es una especie que se clasifica como leguminosa, su fruto es una vaina con dos valvas, las cuales provienen del ovario comprimido (Arias, Rengifo y Jaramillo, 2007, p.39)

- **Características**

Sostienen que las vainas pueden ser de diferentes colores y tamaños dependiendo de la variedad y el sitio donde es cultivada. Dos suturas aparecen en la unión de las valvas: la sutura dorsal, llamada placentar, y la sutura ventral. Los óvulos, que son las futuras semillas, alternan en la sutura placentar (Arias, Rengifo y Jaramillo, 2007, pp.39-40).

- **Componentes**

El contenido de proteína del fríjol está dentro del 20 al 28% de acuerdo a la variedad y la región donde se produce (Arias, Rengifo y Jaramillo, 2007, p.25).

#### **F. *Citrus sinensis***

- **Concepto**

La cascara de naranja es de color naranja rojizo, con una superficie irregular, sin embargo, los dibujos o defectos regulares semejan poros o

porosidad en toda la superficie, asimismo la cascara no es brillante pero tampoco es mate (Caivano y López 2004, p.56).

- **Estructura de la cascara de cítricos**

La pectina es parte de la estructura de las frutas y se encuentra en la pared celular de cualquier vegetal, además es un polisacárido, en donde sus moléculas están formadas básicamente por ácido D-galacturónico unido por enlaces alfa (1,4) (Leite, 2017, pár.1).

- **Fuente de Pectina**

La mayoría de cascara de cítricos, se está convirtiendo en un residuo, teniendo en cuenta algunos cítricos en Pakistan, se considera imperativo estudiar las posibilidades de suavizar la porción de albedo de la cáscara de pomelo como fuente de pectina (Ahmad et al, 2012, párr.1).

- Estructura y Propiedades de las pectinas: Son sustancias intersticiales, su principal propiedad dar agua con geles elásticos, es efecto su estructura responde a formas polimeras del ácido galacturónico en parte salificado por Ca o Mg (Vian, 2006, p.486).
- Contenido de pectina en mondas de naranja: El porcentaje de pectina sobre materia fresca de mondas de naranja es de 4 y en materia seca es de 35 (Vian, 2006, p.486).
- pH de la pectina: Las pectinas extraídas de las materias forman geles termorreversibles en medio ácido (pH=3) y en presencia de azúcar; el pH, no obstante, puede ser más alto cuando se añaden sales cálcicas (Vian, 2006, p.486).

## G. Eficiencia

- **Concepto**

La eficiencia es la relación que existe entre los objetivos logrados y los medios que se han utilizado para lograrlos (Gómez, 2003, p.346). Para elevar la eficiencia, dentro de un recurso ambiental, se da reduciendo el agotamiento del recurso original o reduciendo la contaminación causada por algún residuo (Jacobs, 1996, p. 191).

- **Métodos para elevar la eficiencia ambiental**

- Disminuir la utilización de artículos “biodegradables” que al desecharse pueden ser descompuestos en sustancias peligrosas.
- Incrementar el tratamiento de desechos antes de que lleguen al ambiente, para descomponer sustancias peligrosas en sustancias inofensivas.
- Aumentar el volumen de reciclaje de desechos, para evitar que lleguen al ambiente.
- Incrementar la capacidad de aprovechamiento del recurso natural de los desperdicios. Por ejemplo, la concentración de microorganismos puede absorber mayores cantidades de aguas negras para habilitar un río.
- El descubrimiento de nuevos medios receptores seguros.

Estos métodos están orientados en la contaminación ambiental (Jiménez, 2013, pp. 82-83).

- **Estándares de medición de eficiencia**

El indicador del porcentaje de eficiencia real de producción tiene por finalidad principal compartir las mejores características que generan

éxito de acuerdo con los objetivos medidos (Montero, Díaz, Guevara, Cepeda y Barrera, 2013, p.32).

<b>%EPR</b>	<b>Calificación</b>	<b>Competitividad</b>
EPR < 65%	Inaceptable	Muy baja competitividad
65% < EPR < 75%	Regular	Baja competitividad
75% < EPR < 85%	Aceptable	Competitividad ligeramente baja
85% < EPR < 95%	Buena	Buena competitividad
EPR ≥ 95%	Excelente	Alta competitividad

Figura 2. Tabla. Escala valorativa del porcentaje Eficiencia Real (%EPR) de Producción alineado al cumplimiento de clase mundial.

Fuente: Una Herramienta de Mejora, el OEE (Efectividad Global del Equipo). Alonzo G. Hugo L. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya. 2009. (Montero, Díaz, Guevara, Cepeda y Barrera, 2013, p.32)

Modificado por los autores.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en la biosorción de arsénico del agua del Río Moche, a la altura de Shorey, cuyas coordenadas UTM son Latitud 9115092.70 m S y Longitud 792332.21 m E en el mes de septiembre del 2019?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en la biosorción de arsénico del agua del Río Moche, a la altura de Shorey, cuyas coordenadas UTM son Latitud 9115092.70 m S y Longitud 792332.21 m E en el mes de septiembre del 2019.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de arsénico en el agua del Río Moche a la altura de Shorey, cuyas coordenadas UTM son Latitud 9115092.70 m S y Longitud 792332.21 m E.
- Determinar la influencia del tiempo de contacto de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en el proceso de biosorción de arsénico del agua del Río Moche, a la altura de Shorey, cuyas coordenadas UTM son Latitud 9115092.70 m S y Longitud 792332.21 m E, en el mes de septiembre del 2019.
- Determinar la influencia de la velocidad de agitación de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en el proceso de biosorción de arsénico del agua del Río Moche, a la altura de Shorey, cuyas coordenadas UTM son Latitud 9115092.70 m S y Longitud 792332.21 m E, en el mes de septiembre del 2019.
- Determinar el porcentaje de biosorción de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* del proceso de biosorción de arsénico del agua del Río Moche, a la altura de Shorey, cuyas coordenadas UTM son Latitud 9115092.70 m S y Longitud 792332.21 m E, en el mes de septiembre del 2019.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

La vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* son eficientes en la biosorción de arsénico de agua del río Moche.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

El tiempo de contacto de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* influye en el proceso de biosorción de arsénico de aguas del río Moche.

La velocidad de agitación de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* influye en el proceso de biosorción de arsénico de aguas del río Moche.

El porcentaje de biosorción de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* es alta en el proceso de biosorción de arsénico de aguas del río Moche.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo tiene una investigación cuantitativa, de tipo experimental puro, porque se mide el efecto de la variable independiente en la dependiente, además lleva un control o validez interna de la situación experimental. Es decir, la manipulación de las variables independientes como la eficiencia de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y cáscara de *Citrus sinensis*, se les aplicará un control directo para observar sus cambios en la variable dependiente “biosorción de arsénico”.

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

La población de la presente investigación es el agua del Río Moche, y la muestra será ocho (08) litros de agua con un tipo de muestreo simple, a la altura de Shorey (Latitud 9115092.70 m S y Longitud 792332.21 m E).

#### A. Materiales:

##### Para el muestreo de aguas:

- Recipiente plástico
- 8 botellas de 1 litro
- Agua destilada
- Cooler
- Guantes, guardapolvo
- Etiquetas, cadena de custodia.
- Tijera, cinta

##### Para los ensayos en el laboratorio:

- Vasos de precipitación de 100 ml y 500 ml (Boeco Germany)

- Matraces de Erlenmeyer de 100 ml y 500 ml (Boeco Germany)
- Pipetas de 1 ml y 10 ml (Boeco Germany)
- Micropipeta de 20  $\mu$ l - 200  $\mu$ l, 100  $\mu$ l - 1000  $\mu$ l y 1000  $\mu$ l - 5000  $\mu$ l (Boeco Germany)
- Pissetas, frascos de polietileno
- Embudos de vidrio (Boeco Germany)
- Papel filtro Whatman N° 2, malla ASTM de 40  $\mu$ m
- 3 kilos de vaina del frijol (*Phaseolus vulgaris*) y cáscara de naranja (*Citrus sinensis*).

## **B. Equipos:**

### **Para el muestreo de aguas:**

- Termómetro manual (BOECO sin serie, modelo SH-104)
- pH-metro (Hatch, N° serie 130800092366 y modelo HQ40d).

### **Para los ensayos en el laboratorio:**

- Termómetro digital (BOECO, sin serie y modelo SH-104)
- pH-metro (Hatch, N° serie 130800092366 y modelo HQ40d)
- Estufa (MEMMERT, serie B113.1527 y modelo UN 30)
- Refrigerador
- Balanza electrónica (OHAUS, serie 7132181912 y modelo TRAVELER TA302)
- Espectrofotómetro de absorción atómica por generación de hidruros (VERNIER UV-VIS, serie 14000937 y su modelo VSP-UV)
- Jar-Test VELP
- Molino de mano



- Bolsas ziploc.

**C. Reactivos:**

- Ácido nítrico 69%
- Ácido sulfúrico 98%
- Ácido clorhídrico al 33%
- Solución estándar de Arsénico de 1000 ppm marca MERCK
- Ácido ascórbico
- Borohidruro de sodio
- Hidróxido de sodio
- Persulfato de potasio
- Yoduro de potasio
- Agua ultra pura y agua destilada.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **2.3.1. Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos fue dada por la observación para describir las características del lugar de muestreo, el llenado de fichas y registros, y los procesos realizados para la biosorción y lectura de arsénico en agua con dos tipos de biomásas, esto se basó en el “Protocolo Nacional para el monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” y “Standard Methods for the Examination of Water, Wastewater APHA-AWWA-WEF and Method C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method”.

#### **2.3.2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos utilizados fueron la cadena de custodia, ficha de monitoreo de agua, ficha de descripción del lugar, registro de datos de la concentración

inicial y final de arsénico los cuales permitieron determinar la acción y reacción de las variables.

#### **2.3.4. Métodos Estadísticos**

El método estadístico que se empleará con el propósito de comprobar las hipótesis nulas y alternas depende del diseño de investigación de análisis de varianza con cuatro factores con un diseño mixto DOE (Diseño de experimentos). Este método permite estudiar simultáneamente los efectos de cuatro factores de variación, factor A intra sujeto (tipo de biosorbente, factor B intra- sujeto (masa de biosorbentes), factor C entre- sujeto (tiempo de contacto.), factor D entre- sujeto y (velocidad de agitación) y se aplicara con el software Minitab V18.

#### **2.3.5. Validez**

El instrumento de cadena de custodia que se encuentra en el Anexo N° 15, ficha de registro de datos de campo en el Anexo N° 16, la ficha de identificación del punto de muestreo de agua en el Anexo N°17 y el “Registro de datos de la concentración inicial y final de arsénico” en el Anexo N° 18, fue evaluado y validado por un experto en el tema de investigación. Asimismo, para procesar los datos estadísticamente se usó el programa de Minitav v.18.

#### **2.3.6. Confiabilidad**

Los instrumentos son confiables por el puntaje dado por el experto, asimismo, por las fichas de calibración de los equipos que se encuentran en los Anexos 21, 22, 23 y 24 utilizados para los diferentes procesos realizados y para la medición de parámetros.

## 2.4. Procedimiento

### 2.4.4. Ubicación y recolección de la muestra de agua del Río Moche

Se basó en el “Protocolo Nacional para el monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” (Resolución Jefatural N°010-2016- ANA) para el muestreo de agua del Río Moche, a la altura de la localidad de Shorey, en donde se planificó el monitoreo de aguas superficiales y se preparó los materiales, equipos (rotulados), indumentaria de protección para las actividades en el campo, asimismo, mediante Google Earth se pudo identificar la zona de muestreo, cuyas coordenadas UTM son Latitud 9115092.70 m S y Longitud 792332.21 m E. En la etapa del campo, se hizo un reconocimiento al lugar de muestreo y se registró las observaciones en una ficha de campo (Ver anexo N°16, 17), además, se identificó el punto de muestreo, este es de fácil acceso, corriente homogénea y poco turbulenta.

Para la toma de muestras de agua se tuvo en cuenta todas las medidas de protección personal: utilización de guantes, botas, etc.; antes de la toma de muestras se enjuago el recipiente y botellas con el agua del propio punto de muestreo (2 veces), por consiguiente, para tener una muestra homogénea, se mezcló varias muestras simples, en la que, se utilizó el balde para recolectar el agua, se midió sus parámetros de temperatura y pH, y se llenó en las 8 botellas de vidrio de 1 litro, cada una rotulada con los datos de las mediciones hechas. Asimismo, se llenó la cadena de custodia y aseguramos su transporte (5 horas) al laboratorio de Análisis Instrumental de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte.

PUNTOS DE MUESTREO	Coordenadas UTM: Modelo WG84
<b>P1</b>	E: 793154.3886
	S: 9113873.4322
	Zona: 17
	Hemisferio: Sur

*Figura 3.* Puntos de muestreo de agua del Río Moche.  
Nota: Puntos de muestreo a la altura de Shorey. Elaboración propia

<b>Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. Parámetros físicos</b>	
<b>Subcategoría E2: Ríos</b>	
Muestras simples del río Moche	pH, Temperatura

*Figura 4.* Parámetros físicos del monitoreo de agua del Río Moche, a la altura de Shorey  
Fuente: D.S. N°004-2017-MINAM

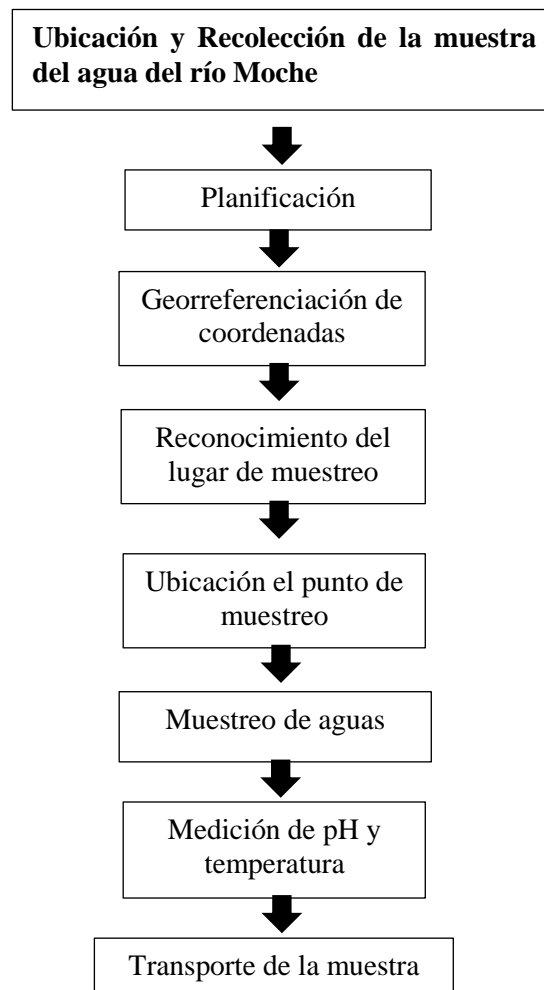


Figura 5. Pasos de la ubicación y recolección de la muestra de agua del Río Moche

#### 2.4.5. Para la preparación de los biosorbentes:

Diseño modificado según Trelles (2013) y Choquejahuá (2018), en donde se utilizarán los métodos volumétricos, gravimétricos y de espectrofotometría.

- Tratamiento de la cáscara de naranja y vaina de frijol: Se recolectó 3 kilos de vaina de frijol y cáscara de naranja y, luego se procedió a lavar con abundante agua destilada respectivamente, se cortó cada cáscara hasta un tamaño de 0.5 a 1 cm, después se puso en bandejas de metal y se insertó a la estufa a un secado de 24 horas a 60°. Posteriormente se trituró con el molino cada biomasa para pasarla por las mallas estándar ASTM (N°40) y finalmente se colocaron las biomásas en bolsas herméticas o ziploc conservándose a una temperatura ambiente.

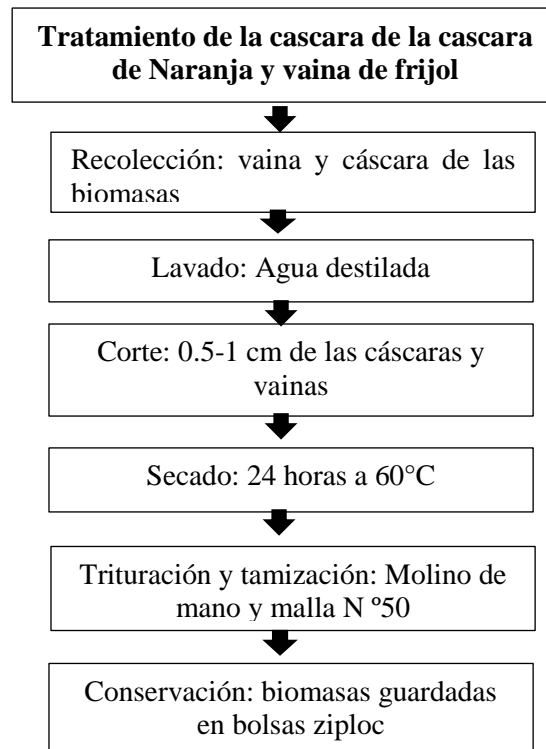


Figura 6. Secuencia del tratamiento de la cáscara de naranja y vaina de frijol - elaboración propia

- **Para los ensayos experimentales:** Diseño modificado según Trelles (2013) y Choquejahuá (2018), en donde se utilizarán los métodos volumétricos, gravimétricos y de espectrofotometría.

- Ensayo de biosorción:

Se trabajó con la capacidad (porcentaje) de biosorción en función de la masa del biosorbente presente en la muestra y la velocidad de agitación:

Se tuvo masas de 5, 7 y 10 g de los biosorbentes, a las cuales se le agregarán 400 ml de la muestra de agua con concentración inicial de arsénico, posteriormente, dichas muestras fueron llevadas a la prueba del test de jarras, por tiempos de 120 y 180 minutos, con agitación de 80 y 100 rpm, además esta prueba se realizará a temperatura ambiente y el pH de las muestras. Luego las soluciones fueron vertidas en los vasos de precipitación y al finalizar el tiempo de contacto, las muestras estarán en reposo por 30 minutos para generar la sedimentación de la fase sólida.

Posteriormente, para cada una de las muestras de las dos determinantes, el volumen sobrenadante será filtrado, de los cuales solo 100 ml de cada uno serán conservados en frascos de polietileno. Luego se agregará 0.3 ml de ácido sulfúrico 98% ( $H_2SO_4$ ) para la conservación de las muestras, además se preparará un blanco con 50 ml de muestra con la concentración inicial de arsénico. Las muestras finales serán medidas para observar la concentración final de arsénico.

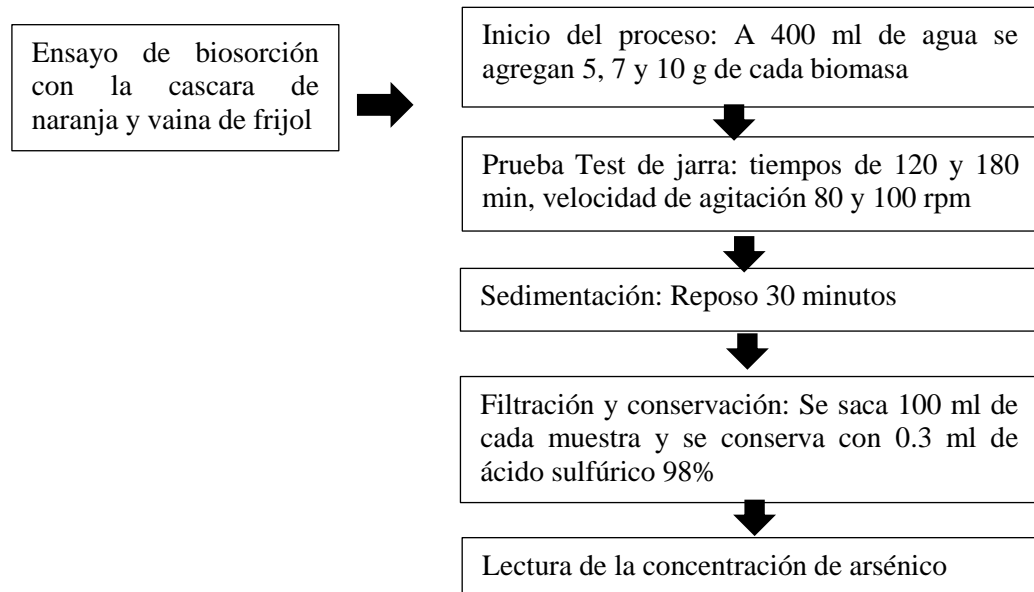


Figura 7. Secuencia del ensayo de biosorción con la cascara de naranja y vaina de frijol - elaboración propia

- **Método Espectrofotométrico (Análisis de la concentración de arsénico)**

Este método por generador de hidruros es un sistema que genera un flujo continuo de vapor, que consta de una bomba peristáltica que continuamente bombea muestras y reactivos a un tubo múltiple, donde se produce la mezcla. La solución mezcla fluye a través de un tubo serpentín donde se forma el hidruro del elemento junto con hidrógeno. Con la ayuda del gas portador (Argón) el hidruro (junto con el hidrógeno) entra a un recipiente separador gas-líquido donde el hidruro gaseoso es removido de la solución. Posteriormente el hidruro, al estado de vapor es transportado hasta la celda de absorción de cuarzo, que está montada sobre el mechero y calentada con llama aire-acetileno, el vapor es atomizado en la llama produciéndose la absorción de luz. En general

en el proceso de generación de hidruros, la máxima sensibilidad se obtiene cuando el elemento analito está en un estado de oxidación particular. La muestra, los estándares y el blanco deben ser tratados previamente para llevar el analito al estado de oxidación apropiado.

Los métodos utilizados para el análisis de arsénico: Standard Methods for the Examination of Water, Wastewater APHA-AWWA-WEF and Method C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/ Atomic Absorption Spectrometric Method.

- La digestión de la muestra se realizó de la siguiente manera:

Se transfirieron 100 ml de cada muestra en vasos de precipitaciones de 500 ml y se agregó 5 ml de ácido nítrico al 69%. Luego se pusieron estos vasos en una cocina, para su evaporación (continuar calentando y agregando  $\text{HNO}_3$  concentrado según sea necesario hasta que se complete la digestión como se muestra con un color claro), no se dejó evaporar toda la muestra, se esperó para que se enfríen las muestras y finalmente se filtraron cada una de ellas.

- Para la preparación se usó los siguientes reactivos-

- Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , concentrado.

- Ácido perclórico,  $\text{HClO}_4$ , concentrado.

- Ácido clorhídrico,  $\text{HCl}$ , concentrado.

- Ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 18 N.

- Borohidruro de sodio: disolver 8 g de  $\text{NaBH}_4$  en 200 ml de  $\text{NaOH}$  0,1N.

- Solución pre-reductora de yoduro de sodio: disolver 50 g de  $\text{NaI}$  en 500 ml de agua. Alternativamente, use una solución  $\text{KI}$  equivalente.



- Ácido sulfúrico, 2.5 N: agregue cuidadosamente 35 ml de  $H_2SO_4$  concentrado a aproximadamente 400 ml de agua y luego ajustar el volumen a 500 ml.
- Persulfato de potasio, solución al 5%: disolver 25 g de  $K_2S_2O_8$  en agua y diluir a 500 ml.
- Argón (o nitrógeno), grado comercial.
- Soluciones de arsénico (III):
  - Solución stock como (III): disolver 1.320 g de trióxido de arsénico,  $As_2O_3$ , en agua que contiene 4 gr NaOH. Diluir a 1 L; 1,00 ml = 1,00 mg de As (III).
  - Solución intermedia de As (III): diluir 10 ml de solución As estándar a 1000 ml con agua que contiene 5 ml de HCl conc. 1,00 ml = 10,0  $\mu g$  de As (III).
  - Solución estándar de As (III): diluir 10 ml de solución intermedia de As (III) a 1000 ml con agua que contiene la misma concentración de ácido utilizada para la conservación de la muestra (2 a 5 ml conc.  $HNO_3$ ); 1,00 ml = 0,100  $\mu g$  de As (III).
- Soluciones de arsénico (V)
  - Solución madre de As (V): disolver 1.534 g de pentóxido de arsénico,  $As_2O_5$ , en agua destilada; que contiene 4 g de NaOH. Diluir a 1 L; 1,00 ml = 1,00 mg de As (V).
  - Solución intermedia de As (V): preparar como para As (III) anterior; 1,00 ml = 10,0  $\mu g$  de As (V).
  - Solución estándar de As (V): Prepárese como para As (III) anterior; 1,00 ml = 0,100  $\mu g$  de As (V).

- Soluciones de arsénico orgánico:

Solución de arsénico orgánico de reserva: disuelva 1.842 g de ácido dimetilarsínico (ácido cacodílico),  $(\text{CH}_3)_2\text{AsO}_2\text{H}$ , en agua que contiene 4 g de NaOH. Diluir a 1 L; 1,00 ml = 1,00 mg As.

Solución de arsénico orgánico intermedio: preparar como en el As (III) anterior; 1.00 ml = 10.0  $\mu\text{g}$  As.

Solución estándar de arsénico orgánico: prepárese como en As (III) anterior; 1,00 ml = 0,100  $\mu\text{g}$  As.

- Estándares de calibración: Se transfirió 0, 1, 2, 5, 10, 15 y 20 ml de soluciones estándar de As (III) a matraces volumétricos y se llevó a 100 ml con agua que contiene la misma concentración de ácido utilizada para la conservación de la muestra (comúnmente 2 a 5 ml de concentrado de  $\text{HNO}_3$  / L). Esto produce soluciones en blanco y estándar de 0, 1, 2, 5, 10, 15 y 20  $\mu\text{g}$  de As.

Solución	Ppb	ml 1000 ppb de As
B	0	0
1	1	50
2	2	100
3	5	250
4	10	500
5	15	750
6	20	1000

*Figura 8.* Estándares de calibración en función a la solución de As, Trelles (2013)

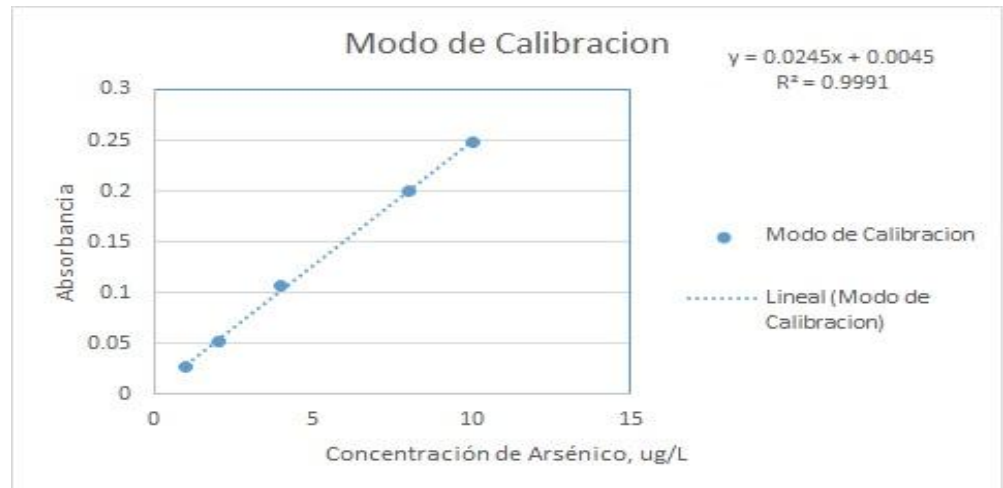
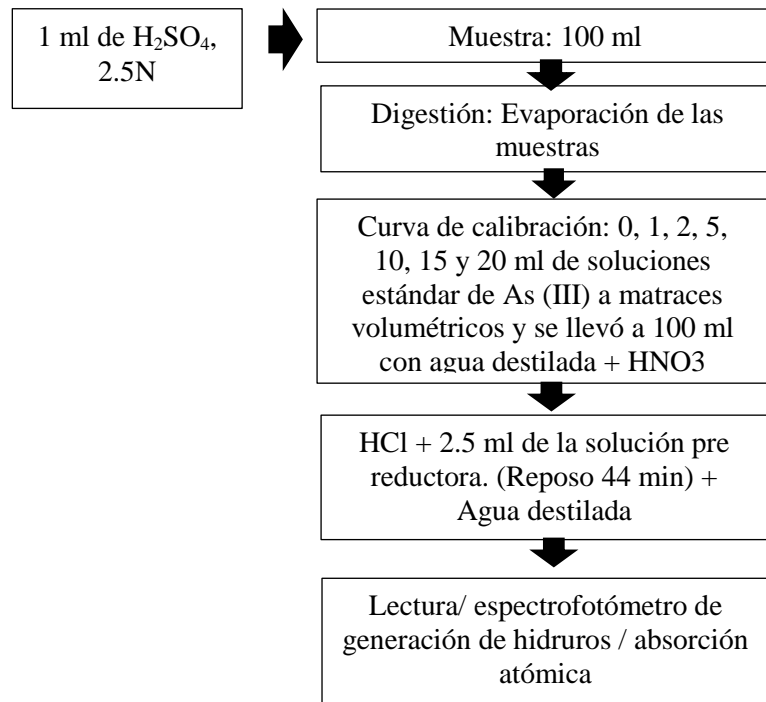


Figura 9. Curva de Calibración para la lectura de Arsénico en la muestra de agua del río Moche - Elaboración propia

- Determinación de arsénico con borohidruro de sodio

Se puso 50 ml muestra en un vaso de precipitados de 200 ml, se agregó 5 ml de HCl concentrado. Se añadió 5 ml de solución pre-reductora de NaI, se mezcló y esperó 30 minutos. Posteriormente, se conectó un vaso de precipitados a la vez al tapón de goma que contiene el tubo de dispersión de gas para el gas de purga, la entrada de reactivo de borohidruro de sodio y la salida a la celda de cuarzo. Se encendió el registrador de tiras y se esperó hasta que el gas de purga establezca la línea base y todo el aire sea expulsado de la celda de reacción. Se añadió 0,5 ml de reactivo de borohidruro de sodio. Después de que la absorbancia del instrumento haya alcanzado un máximo y haya regresado a la línea base, se retiró el vaso de precipitados, se enjuagó el tubo de dispersión con agua y se continuó con la siguiente muestra. Se comparó periódicamente las curvas estándar As (III) y As (V) para la consistencia de la respuesta.



*Figura 10.* Secuencia del procedimiento de análisis de muestra -  
 Elaboración propia

- Evaluación de la eficiencia de biosorción**

Mediante la ecuación de porcentaje de remoción hidráulica se evalúa la eficiencia de remoción de la carga orgánica (Romero, Colín, Sánchez y Ortiz, 2009, p. 160).

*Ecuación 2:* Ecuación del porcentaje de biosorción de Arsénico

$$\% R = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:  $C_i$  es la concentración inicial

$C_f$  es la concentración final de As en mg/L.

- **Diseño de investigación**

Se utilizó el diseño factorial con cuatro factores, basado en la tesis de Choquejahuá (2018), en donde se evaluaron tres factores cuantitativos como la masa de biosorbente con 3 niveles, tiempo de contacto con 2 niveles y la velocidad de agitación con 2 niveles, siendo  $a*b*c: 3*2*2=$  12 grupos experimentales por cada biomasa, con una repetición por cada tipo de biomasa y un factor cualitativo con 2 niveles, habiendo un total de 24 pruebas.

- Factores: Biosorción

Factor A- Tipo de biosorbente

- $A_1$ : *Phaseolus vulgaris*
- $A_2$ : *Citrus sinensis*

Factor B- Masa de biosorbentes

- $B_1$ : 5 gr
- $B_2$ : 7 gr
- $B_3$ : 10 gr

Factor C- Tiempo de contacto

- $C_1$ : 120 min
- $C_2$ : 180 min

Factor D- Velocidad de agitación

- $D_1$ : 80 rpm
- $D_2$ : 100 rpm

		5 gramos (B1)		7 gramos (B2)		5 gramos (B3)	
Vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> (A1)		FACTOR D: Velocidad de agitación		FACTOR D: Velocidad de agitación		FACTOR D: Velocidad de agitación	
		80 rpm (D1)	100 rpm (D2)	80 rpm (D1)	100 rpm (D2)	80 rpm (D1)	100 rpm (D2)
FACTOR C: Tiempo de contacto	120 min (C1)	$(A_1 * B_1 * C_1 * D_1)_{1111}$	$(A_1 * B_1 * C_1 * D_2)_{1112}$	$(A_1 * B_2 * C_1 * D_1)_{1211}$	$(A_1 * B_2 * C_1 * D_2)_{1212}$	$(A_1 * B_3 * C_1 * D_1)_{1311}$	$(A_1 * B_3 * C_1 * D_2)_{1312}$
	180 min (C2)	$(A_1 * B_1 * C_2 * D_1)_{1121}$	$(A_1 * B_1 * C_2 * D_2)_{1122}$	$(A_1 * B_2 * C_2 * D_1)_{1221}$	$(A_1 * B_2 * C_2 * D_2)_{1222}$	$(A_1 * B_3 * C_2 * D_1)_{1321}$	$(A_1 * B_3 * C_2 * D_2)_{1322}$

Figura 11. Combinaciones para la prueba de biosorción de la vaina de *Phaseolus vulgaris*. Elaboración propia.

		5 gramos (B1)		7 gramos (B2)		5 gramos (B3)	
Cáscara de <i>Citrus sinensis</i> (A2)		FACTOR D: Velocidad de agitación		FACTOR D: Velocidad de agitación		FACTOR D: Velocidad de agitación	
		80 rpm (D1)	100 rpm (D2)	80 rpm (D1)	100 rpm (D2)	80 rpm (D1)	100 rpm (D2)
FACTOR C: Tiempo de contacto	120 min (C1)	$(A_2 * B_1 * C_1 * D_1)_{2111}$	$(A_2 * B_1 * C_1 * D_2)_{2112}$	$(A_2 * B_2 * C_1 * D_1)_{2211}$	$(A_2 * B_2 * C_1 * D_2)_{2212}$	$(A_2 * B_3 * C_1 * D_1)_{2311}$	$(A_2 * B_3 * C_1 * D_2)_{2312}$
	180 min (C2)	$(A_2 * B_1 * C_2 * D_1)_{2121}$	$(A_2 * B_1 * C_2 * D_2)_{2122}$	$(A_2 * B_2 * C_2 * D_1)_{2221}$	$(A_2 * B_2 * C_2 * D_2)_{2222}$	$(A_2 * B_3 * C_2 * D_1)_{2321}$	$(A_2 * B_3 * C_2 * D_2)_{2322}$

Figura 12. Combinaciones para la prueba de biosorción de la cáscara de *Citrus sinensis*. Elaboración propia.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis de la eficiencia de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en el proceso de biosorción de As del agua del Río Moche con respecto al tiempo de contacto, velocidad de agitación y la capacidad de biosorción se muestran en las siguientes tablas y gráficos.

#### 3.1. Biosorción de Arsénico usando la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de

##### *Citrus sinensis*

Masa de biosorbente (gr)	Tipo de biosorbente	Tiempo de biosorción (min)	Velocidad de agitación (rpm)	
			80	100
			Concentración Final de As	Concentración Final de As
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	1.058	1.747
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	1.497	2.266
5	<i>Citrus sinensis</i>	120	0.779	1.044
5	<i>Citrus sinensis</i>	180	0.964	1.176
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	1.398	2.603
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	1.627	2.837
7	<i>Citrus sinensis</i>	120	1.023	1.444
7	<i>Citrus sinensis</i>	180	1.286	1.694
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	2.202	3.190
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	2.066	3.24
10	<i>Citrus sinensis</i>	120	1.249	2.082
10	<i>Citrus sinensis</i>	180	1.267	2.255
<b>Concentración inicial de arsénico</b>			7.058	

Figura 13. Resultados iniciales y finales del proceso de Biosorción de arsénico con la vaina de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*).

En la figura 13, refleja que la concentración inicial de As es de 7.058 mg/L. Después del proceso de biosorción, la vaina de *Phaseolus vulgaris* tiene una concentración final de 1.058 mg/L, y, para la cáscara de *Citrus sinensis* de 0.779 mg/L, ambas con condiciones óptimas de 120 min, 5g y 80 rpm.

### 3.1.1. Prueba de Hipótesis Distribución Normal

Los datos de la muestra según el ensayo siguen una Distribución Normal

Los datos de la muestra según el ensayo no siguen una Distribución Normal

Criterio

Si  $P > 0.05$  se acepta: Los datos de la muestra según el ensayo siguen una Distribución Normal

Si  $P < 0.05$  se rechaza: Los datos de la muestra según el ensayo no siguen una Distribución Normal



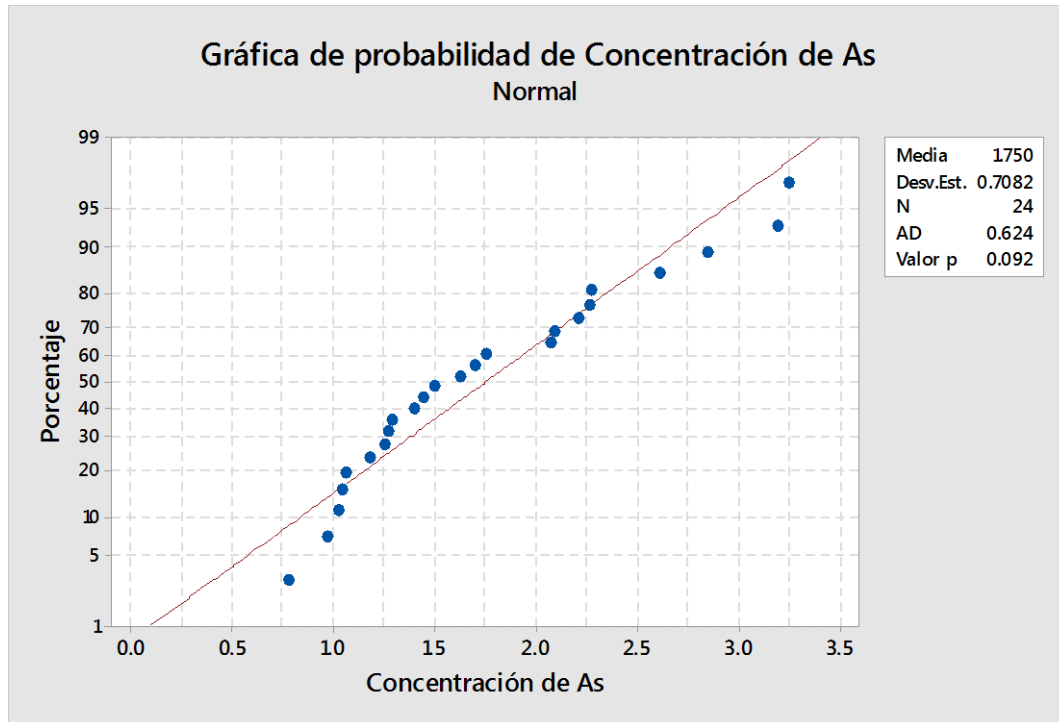


Figura 14. Gráfica de probabilidad normal de concentración de As del agua del río Moche.

#### Notas de Figura

Se determina que, de acuerdo a la prueba de Anderson Darling de normalidad, los resultados obtenidos en el procesamiento de los datos en el Minitab V.18, el valor del P es igual a 0.092, es decir, el P es mayor que 0.05 y se concluye que es aceptable, por lo que, los datos de concentración de As siguen una distribución especificada o normal.

### 3.2. Influencia de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y cáscara de *Citrus sinensis* en la Biosorción de arsénico del agua del río Moche.

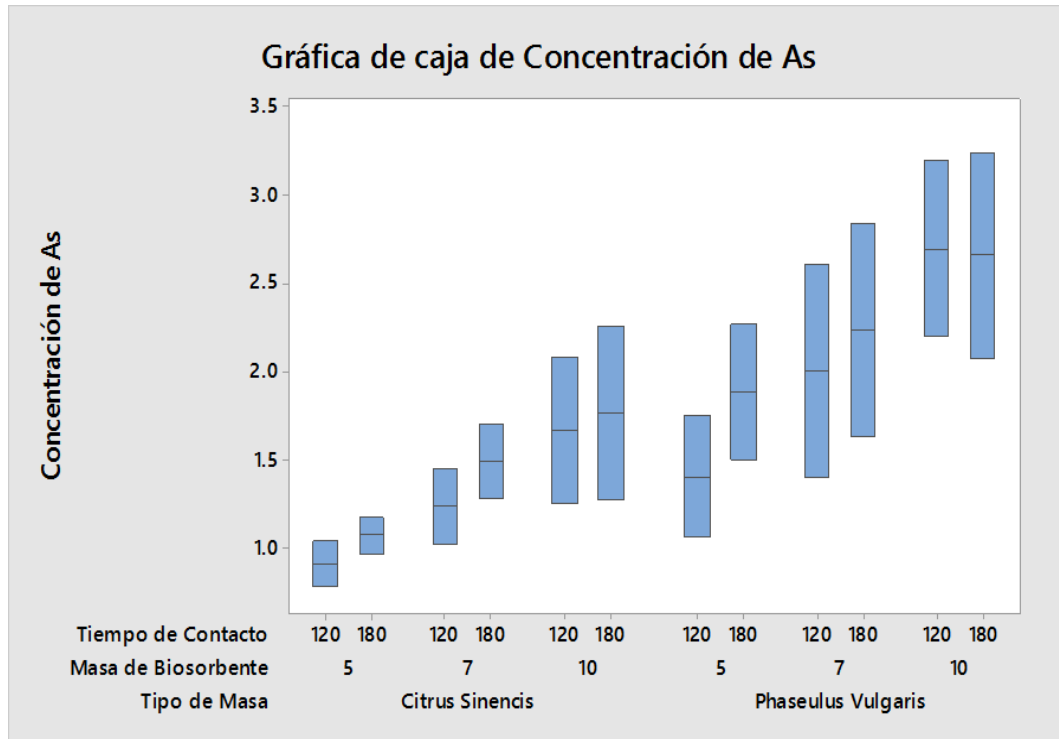


Figura 15. Gráfica de caja de concentración de As del agua del río Moche para determinar cómo influye el tipo de Biosorbente en el proceso de biosorción.

#### Notas de Figura

En la figura 15 se observa que la menor concentración de arsénico del agua del río Moche y la más óptima es con la cáscara de *Citrus sinensis* a condiciones de 5gr, 120 min y a 80 rpm y la concentración mayor y menos óptima corresponde a la vaina de *Phaseolus vulgaris* a condiciones de 10 gr, 180 min y a 100 rpm.

### 3.3. Influencia del tiempo de Contacto de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en el proceso de biosorción.

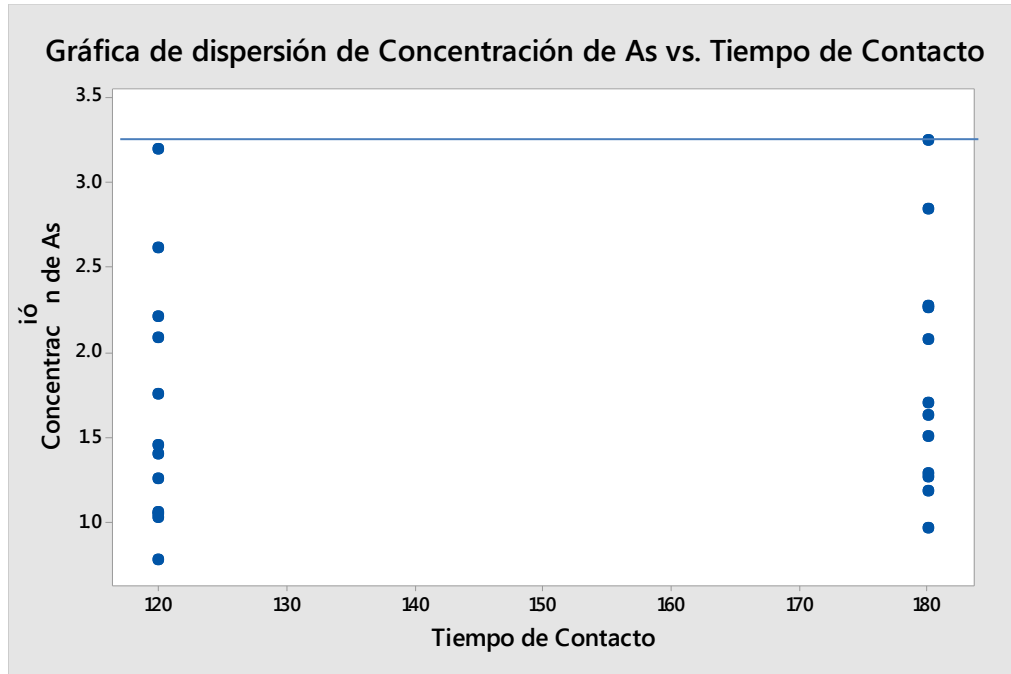


Figura 16. Gráfica de dispersión de Concentración de As vs Tiempo de Contacto en el proceso de biosorción del agua del río Moche.

Notas de Figura.

En la figura 16 se observa la ubicación de todas las concentraciones de arsénico en función del tiempo de Contacto de 120 min y 180 min y la que tiene menor concentración final de As es la que corresponde al tiempo de 120 min.

### 3.4. Influencia de la velocidad de Agitación de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis*.

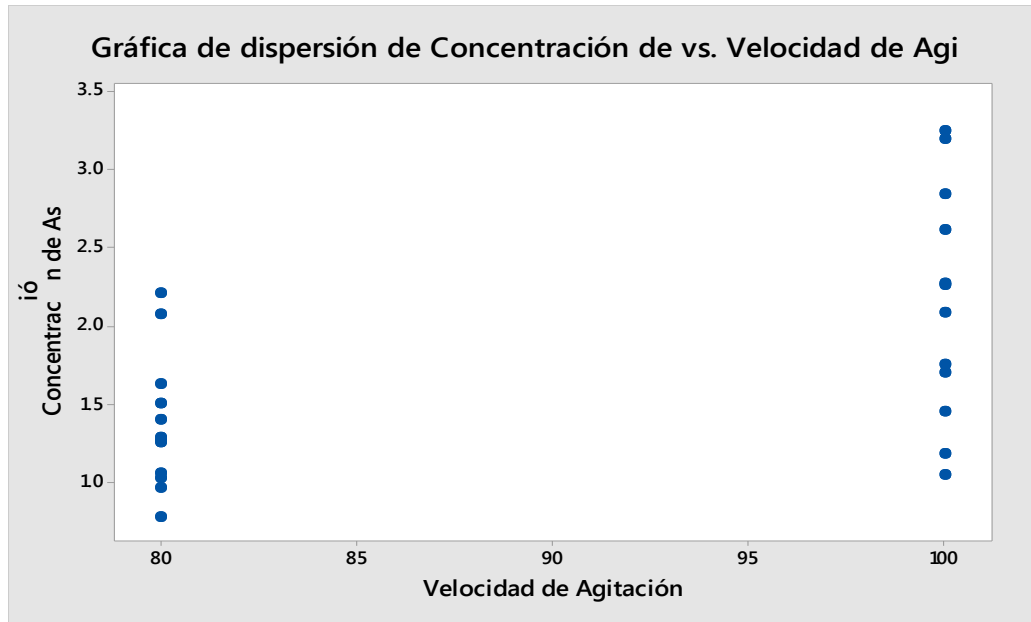


Figura 17. Gráfica de dispersión de Concentración de As vs. Velocidad de Agitación

#### Notas de Figura

En la figura 17 se puede apreciar la ubicación de los datos de concentración de As en función a la velocidad de agitación, en donde se observa que la mayor remoción se dio con la velocidad de agitación de 80 rpm en relación a la velocidad de 100 rpm.

### 3.5. Determinación del Porcentaje de Biosorción de As de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis*.

Para determinar el porcentaje de Biosorción de As se desarrolló la Ec. (1) y se obtuvieron los siguientes datos de porcentaje:

Tabla 1

Determinación del porcentaje de biosorción de arsénico del agua del río Moche en el proceso de Biosorción con la vaina de *Citrus sinensis* y vaina de *Phaseolus vulgaris*.

Masa de biosorbente (gr)	Tipo de biosorbente	Tiempo de biosorción (min)	Velocidad de agitación (rpm)					
			80			100		
			Concentración de As	Porcentaje de biosorción (%)	Capacidad de biosorción	Concentración de As	Porcentaje de biosorción (%)	Capacidad de biosorción
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	1.058	<b>85.00</b>	0.48	1.747	75.24	0.42
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	1.497	78.78	0.44	2.267	67.88	0.38
5	<i>Citrus sinensis</i>	120	0.779	<b>88.96</b>	0.50	1.045	85.20	0.48
5	<i>Citrus sinensis</i>	180	0.964	86.34	0.49	1.177	83.33	0.47
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	1.399	80.18	0.45	2.604	63.11	0.25
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	1.627	76.94	0.43	2.838	59.79	0.24
7	<i>Citrus sinensis</i>	120	1.023	85.50	0.48	1.444	79.54	0.32
7	<i>Citrus sinensis</i>	180	1.287	81.77	0.46	1.694	76.00	0.31
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	2.202	68.80	0.39	3.190	54.80	0.15
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	2.066	70.73	0.40	3.241	<b>54.08</b>	0.15
10	<i>Citrus sinensis</i>	120	1.249	82.30	0.46	2.082	70.50	0.20
10	<i>Citrus sinensis</i>	180	1.267	82.05	0.46	2.255	<b>68.05</b>	0.19
Concentración inicial de arsénico			<b>7.058</b>					

Notas de la Tabla

En la tabla 1 se muestra el % de biosorción de As al usar los biosorbente de vaina de *Phaseolus vulgaris* y cáscara de *Citrus sinensis*, obteniendo que el mayor porcentaje de biosorción corresponde a la cascara de *Citrus sinensis*, con 88.96 % a 5 gr, 120 min y 80 rpm y el menor fue de 54.08% a 10 gr 180 min y 100 rpm usando la vaina de *Phaseolus vulgaris*

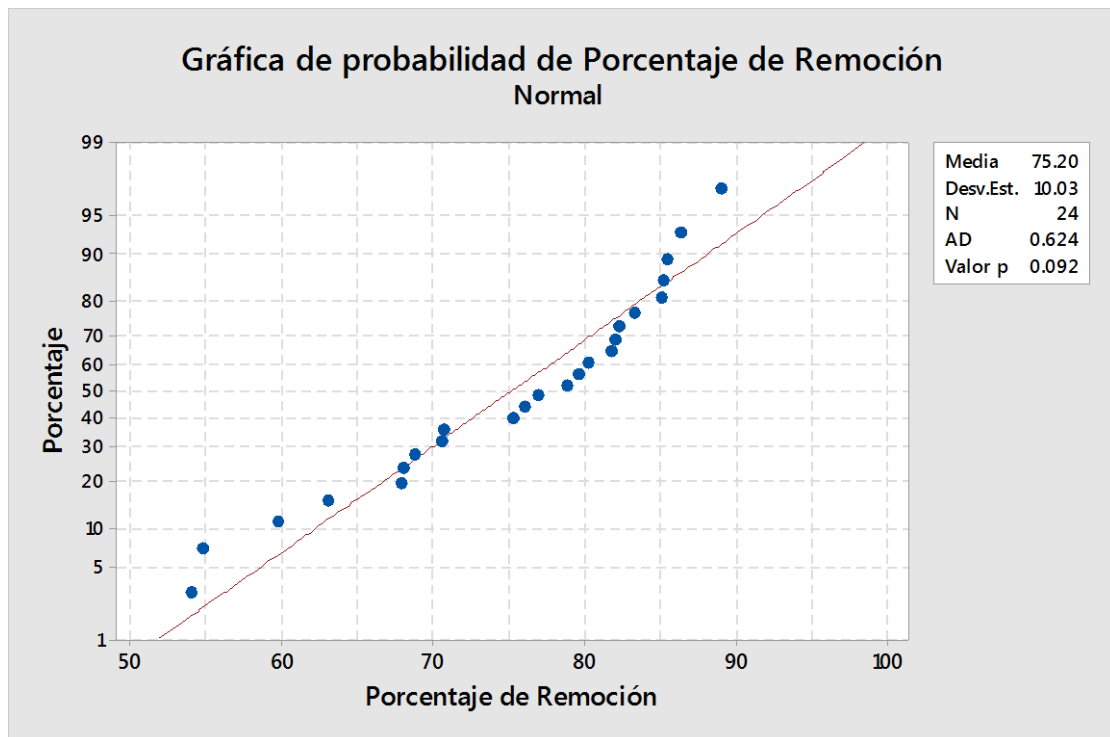


Figura 18. Gráfica de probabilidad normal de porcentaje de biosorción de arsénico del agua del río Moche

Notas de Figura

En la figura 18, se observa que de acuerdo a los resultados obtenidos en el procesamiento de los datos en el Minitab V.18, el valor de P es igual a 0.092, es

decir, el P es mayor que 0.05 y se concluye que es aceptable, según Anderson Darling

los datos de probabilidad de As siguen una distribución especificada o normal.

### 3.6. Gráficos factoriales

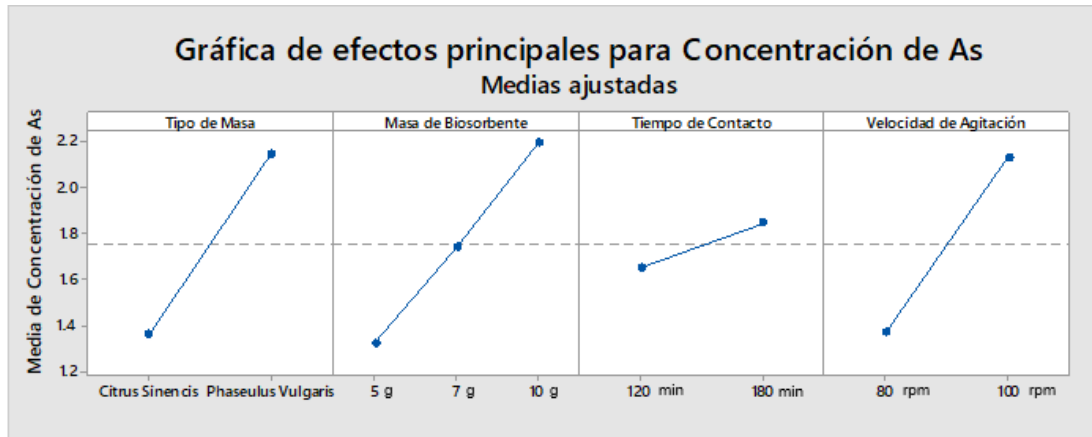


Figura 19. Gráfica factorial de los efectos principales en la concentración de As del agua del río Moche estadísticamente

#### Notas de Figura

En la figura 19, se analiza que el mejor biosorbente es el de *Citrus sinensis*, la mejor masa es de 5 g, el mejor tiempo es de 120 min y la mejor velocidad de agitación es de 80 rpm para la remoción de arsénico en el agua del Río Moche.

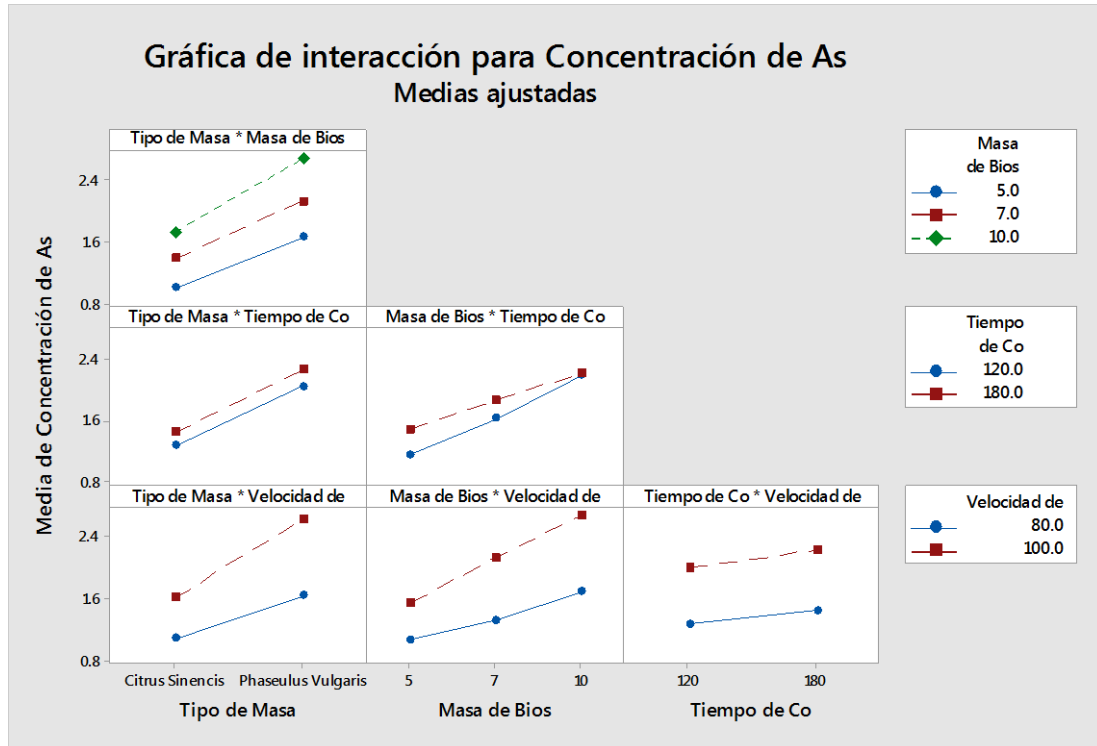


Figura 20. Gráfica factorial de la interacción entre los factores en la concentración de As del agua del río Moche estadísticamente

### Notas de Figura

En la figura 20, se analiza la interacción de las variables con la concentración de As, en donde se denota que la única interacción que tiene una significancia menor en la influencia del proceso de biosorción es del tiempo de contacto vs la velocidad de agitación.



### 3.7. Gráficos de influencia de los factores vs en el proceso de biosorción

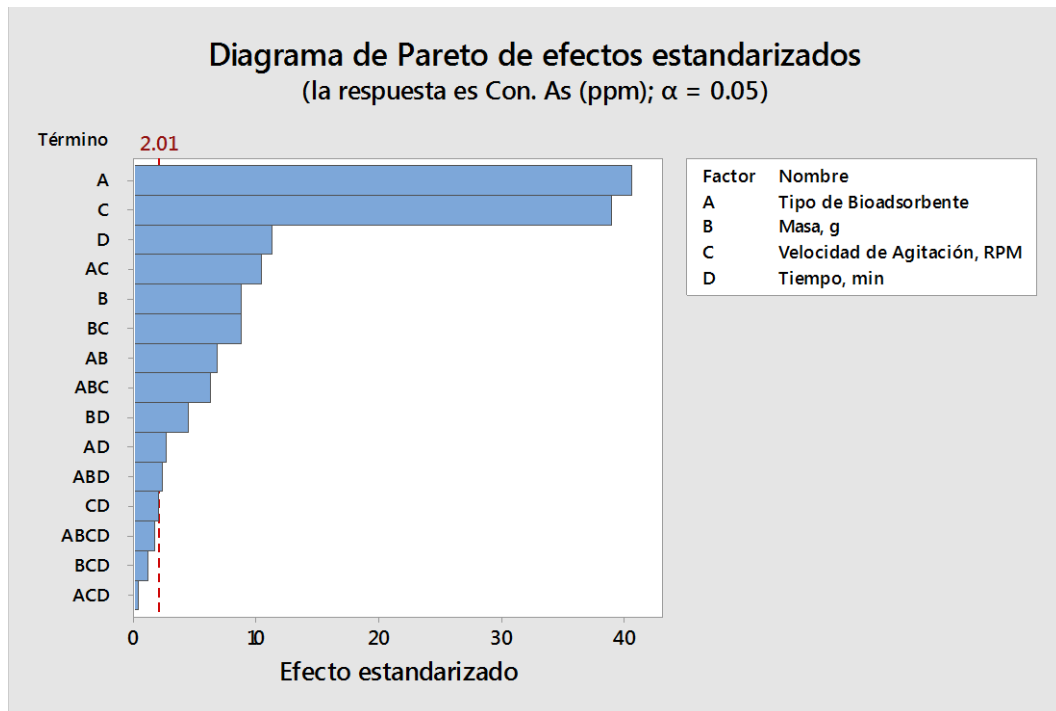


Figura 21. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, para determinar la significancia de cada factor.

#### Notas de Figura

En la figura 21, nos muestra el análisis estadístico mediante el Diseño de Experimentos (DOE) con el software Minitab V18, mediante el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, en donde refleja que la mayoría de combinaciones de factores tienen significancia o influencia en el proceso de Biosorción, a excepción de la masa de biosorbente con la velocidad de agitación (AC), ya que están por debajo del valor de 2.01.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En el presente trabajo, se halló una concentración de 7.058 mg/l de arsénico en las aguas del río Moche (Figura 13), que al comparar con los estándares de calidad de agua en Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, y subcategoría E2: ríos; da como valor límite a la concentración de arsénico a 0.15 mg/l (Figura 1), comprobando la existencia de contaminación de dicha cuenca. De la misma manera, en el Perú existen otros cuerpos de agua contaminados con dicho metal, tal es el caso del río Rímac, que en la investigación de Gonzales et al (2014) resaltan la concentración de arsénico en aproximadamente 50 µg/L durante los años de 1997- 2004, evidenciando nuevamente un problema de contaminación; esta diferencia de concentraciones de ambos cuerpos de agua se debe a diversos factores, como las fuentes de contaminación, condiciones geográficas, clima, tiempos de avenida, año, población, etc. Por consiguiente, ante la problemática de la contaminación de arsénico, disminuir su concentración y mejorar la calidad de agua se plantea el proceso de biosorción, el cual se da de una manera sencilla y eficaz, identificando que biomasa, vaina de *Phaseolus vulgaris* y cáscara de *Citrus sinensis*, tiene mayor eficiencia en remover la concentración de arsénico en agua del río Moche.

Como resultado, del proceso de biosorción, la menor concentración final de arsénico de las muestras de agua del río Moche para la vaina de *Phaseolus vulgaris* es de 1.058 mg/L, y, para la cáscara de *Citrus sinensis* es de 0.779 mg/L (Figura 13).

La presente tesis obtuvo buenos resultados de biosorción de arsénico con la cáscara de naranja y la vaina de frijol, demostrando que los 24 datos obtenidos siguen una distribución normal con el método de Anderson Darling en donde el  $p$  (0.092) es mayor a 0.05 (figura 14).

Es así que la cáscara de naranja demuestra que en la biosorción de arsénico tiene mejores resultados de remoción (Figura 15), esto se debe al contenido que presenta, como lo describe Cardona, Cabañas, y Zepeda (2013) que la pared celular de la cáscara de naranja contiene una cadena de grupos funcionales, ácidos débiles, principalmente grupos carboxílicos. Esto implica que el tipo y estado iónico de los grupos funcionales de la pared celular determinan la magnitud de adsorción. Además, Tejeda, Tejeda, Marimón y Villabona (2014) realizaron la caracterización la cáscara de naranja, en donde encontraron 42.04 % de carbono, 5.44% de hidrógeno, 0.70% de nitrógeno, 10.98% de pectina, 6.51% de lignina, 13.08 de celulosa y 6.77 de hemicelulosa. De la misma manera, la vaina de frijol tiene la capacidad de biosorber concentraciones de arsénico (Figura 14); debido al contenido en la vaina, como sostiene Franco (2014) que la determinación de sitios ácidos y básicos, se encontró que el material tiene características ácidas, se puede decir, que la superficie de la vaina de frijol, presenta grupos carboxilo, anhídridos de ácidos carboxílicos, lactonas, lactoles y grupos hidroxilo de carácter fenólico. Este contenido en las cáscaras ayuda a biosorción, puesto que, Volesky (1990) explica que los grupos de fosforilo, carboxilo, sulfhidrilo e hidroxilo de proteínas de membrana participan en la unión del metal.

El tiempo de contacto que brindó mejores resultados fue el de 120 min (Figura 16), contradiciendo lo que sustenta Sharma (2015) que la capacidad de biosorción y la eficiencia de eliminación de los iones metálicos aumentaron al prolongar el tiempo de contacto hasta alcanzar un estado de equilibrio, lo que es consecuencia de la saturación de biomasa; así como lo demuestra Alvarado (2017) en donde a medida que el tiempo de residencia aumenta y el tamaño de partícula disminuye, la reducción del metal aumenta.

De la misma manera, la velocidad de agitación que más influyó fue la menor, de 80 rpm (Figura 17), sosteniendo que en la mayoría de investigaciones trabajan con una velocidad de 200 rpm.

La cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) tiene un 88.96% de remoción de arsénico en las muestras de agua del río Moche (Tabla 1), siendo el más alto; disminuyendo a 0.779 mg/L del metal pesado, del mismo modo, en la investigación realizada por Sidhu, Sama, Parmar y Bhatt, (2014) tienen una biosorción de arsénico del 87.77% con cáscara de naranja, con una concentración inicial de 1.73 mg/ml. Por otro lado, la utilización de la cáscara de naranja ha permitido disminuir la concentración de otros metales pesados, como es el caso de Cardona, Cabañas, y Zepeda (2013) que utilizaron dicha biomasa para remover Pb (II) y Zn (II), en un 99.5%; de la misma manera, Ordoñez (2015) removió el 99.73% de concentración de plomo, y Alvarado (2017) tuvo el 99.73% de biosorción de plomo con una concentración inicial de 98.93 mg/L.

La vaina de frijol (*Phaseolus vulgaris*) también demuestra ser un buen biosorbente, puesto que logra remover el 85% (Tabla 1), que contrastando con la investigación de Trelles (2013), esta tuvo una biosorción máxima de arsénico del

78.9% en comparación a otros biosorbentes (arroz, trigo, cebada y linaza), con una concentración inicial de 1 mg/L. Por otro lado, esta biomasa permite remover otro tipo de metales, como lo sustenta Estupiñan (2014) en donde la vaina del frijol remueve un 89.19% de Cd.

Así se demuestra que la cáscara de naranja *Citrus sinensis* y la vaina de *Phaseolus vulgaris* presentan altos porcentajes de remoción, en los que se utilizó los indicadores, cantidad de masa (5, 7 y 10 gr), el tiempo de contacto (120 y 180 min) y la velocidad de agitación (80 y 100 rpm), que interactuándolos influyen en el proceso de biosorción de arsénico de las aguas del Río Moche (Tabla 1).

Además, ambas biomásas, cáscara de naranja y vaina de frijol, obtuvieron mejores resultados de biosorción con la masa de 5 g (Tabla 1), como lo constata Ramón (2017) que utilizó 5g, 3g y 1g de cebada, y demuestra que el tamaño de la partícula es indirectamente proporcional al porcentaje de biosorción ya que se obtuvo que la partícula de menor tamaño tuviera mayor absorción; al igual que, Choquejahuá (2018) en donde demuestra que granos de avena reportaron tener mayor capacidad de biosorción en una cantidad de 5g de biomasa lo cual alcanzó al 90 % de biosorción. Es así como, Tejeda, Tejeda, Marimón y Villabona (2014) concluyen que, al disminuir el tamaño de las partículas, el número de centros activos por unidad se incrementa, es por ello, que en la presente investigación se utilizó la malla N°40 para el tamaño de partícula. De igual manera, Ccencho (2018) concluye que, al disminuir el tamaño de partícula de la biomasa, la capacidad de adsorción aumenta obteniendo los mejores porcentajes de biosorción.

Es así, que también se debe considerar el pH y temperatura de las muestras a trabajar, puesto que, Sharma (2015) indica que estos factores influyen en el proceso de biosorción, en este caso se trabajó a pH y temperatura ambiente, 2.14 y 13°C (Anexo 6), facilitando el proceso de biosorción de las biomásas, sin embargo, Franco (2014) indica que el pH del punto de carga cero obtenido tiene un valor de 4.3, en los que sean menores será negativa, y para lo que sean mayores, positiva, facilitando una mayor biosorción. Al igual que Ordoñez (2015) describe el comportamiento del pH óptimo para la biosorción de metales pesados oscila entre 3.5-8.0. Y Sharma (2015) indica que la temperatura influye limitadamente en la biosorción, debido a que, la capacidad de biosorción aumenta con una disminución de la temperatura.

En consecuencia, se comprobó que la velocidad de agitación, el tiempo de contacto y la masa de los biosorbentes influyen de manera inversamente proporcional en el proceso de biosorción de arsénico en medio acuoso, es decir, a menor cantidad de masa, menor tiempo y menor velocidad de agitación se obtiene una mayor biosorción del mencionado contaminante (Figura 19), logrando ser eficiente el proceso de biosorción de arsénico del agua del río Moche, como lo fundamenta Romero, Colín, Sánchez y Ortiz (2009) que el porcentaje de remoción evalúa a la eficiencia de este proceso, y como, Vizcaíno y Fuentes (2014) que ejemplifican en su trabajo la eficiencia de remoción de Cd y Pb mayor al 95%; siendo para la presente investigación la vaina de frijol (*Phaseolus vulgaris*) la de menor eficiencia con 85% y la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) con mayor eficiencia, 88.96%, denotando que no existe un gran diferencia entre estas, es por ello que, Jacobs (1996) sostiene que para aumentar

la eficiencia es necesario reducir la contaminación causada en los recursos naturales y Jiménez (2013) menciona que una de las maneras de lograrlo es aumentar la capacidad de aprovechamiento del medio receptor de los desperdicios, es decir, que la presente investigación ha demostrado disminuir los niveles de concentración de arsénico en el agua del río Moche, demostrando una buena eficiencia de ambas cáscaras para remover dicho metal peligroso, como lo clasifica Alonzo y Hugo (2009) en la “Escala valorativa del porcentaje de eficiencia real” (figura 2). Al mismo tiempo, la interacción de los indicadores con la concentración de As, se expresa que tiene una mayor interacción el tipo de biosorbente con la masa del biosorbente, tiempo de contacto y velocidad de agitación; y la masa de biosorbente con tiempo de contacto y con la velocidad de agitación, sin embargo, el tiempo de contacto con la velocidad de agitación, no tienen una influencia muy significativa en la concentración final de As (Figura 20). En consecuencia, se determina que el tiempo de contacto, la velocidad de agitación, tipo de biosorbente y la masa influyen en la biosorción de arsénico, como lo comprueba el Diagrama de Pareto (Figura 21), puesto que los valores están por encima del valor de 2.01, siendo 120 min, a 80 rpm y 5 gr los que ayudan a tener una mayor biosorción de arsénico con la cáscara de *Citrus sinensis*, y 180 min, a 100 rpm y 10 gr a tener una menor biosorción de arsénico con la vaina de *Phaseolus vulgaris*.

Por consiguiente, este tipo de investigación determinó que la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) tienen efectos más positivos para la biosorción de arsénico en agua, lo que se permite encausar investigaciones que mejoren la calidad de agua y cuenca del río Moche.

Por lo tanto, las diversas actividades generadas por el hombre tienen un impacto en el ambiente; en la minería, los procesos que se ejecutan repercuten negativamente en los recursos naturales, como el agua, que se ve afectada por ser depósito de desechos minerales. El río Moche, abastece de diferentes formas a muchas comunidades, y en su efluente lleva grandes cantidades de contaminantes, como el arsénico, que perjudica a todo ser vivo; ante esta problemática, es necesario encontrar soluciones viables y eficientes que permitan hacer frente a la contaminación de aguas. A través, de esta investigación se determina que la cáscara de *Citrus sinensis* presenta mejores resultados para biosorber las concentraciones de arsénico, y hacer que a largo plazo estas comunidades se desarrollen sosteniblemente y que las generaciones futuras puedan disfrutar de buena salud y un ambiente limpio.

#### 4.2 Conclusiones

- Se determinó que la vaina *Phaseolus vulgaris* tiene una eficiencia de biosorción de arsénico de 85% y la cáscara de *Citrus sinensis* de 88.96%, es decir, que ambas biomásas, según los estándares de medición de eficiencia, tienen una calificación buena en la remoción de arsénico del agua del Río Moche, y al comparar la eficiencia la que tiene mejor resultado es la cáscara de *Citrus sinensis*.
- Se determinó que la concentración de Arsénico en el agua del río Moche, a la altura de Shorey, es de 7.058; superando lo establecido en los estándares de calidad ambiental.



- Se determinó que el tiempo de contacto de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* sí influye en el proceso de biosorción de arsénico del agua del río Moche, como lo demuestra el Diagrama de Pareto, al tener un valor de significancia de 11.4; y en el gráfico factorial de efecto principales demuestra que el tiempo de 120 min influye para tener una concentración menor de As.
- Se determinó que la velocidad de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* sí influye en el proceso de biosorción de arsénico del agua del río Moche, debido a que, en el Diagrama de Pareto tiene un valor de significancia de 38.7; y en el gráfico factorial de efectos principales demuestra que la velocidad de agitación de 80 rpm influye para tener una menor concentración de As.
- Se determinó que el porcentaje de biosorción de la vaina de *Phaseolus vulgaris* es del 85% y una concentración final de As de 1.058 mg/L, empero, el porcentaje más alto es de la cáscara de *Citrus sinensis* con un 88.96% con una concentración final de As de 0.779 mg/L, ambas a condiciones de 120min, 5gr y 80rpm.

## REFERENCIAS

- Ahmad A., Sadiq, M. & Afzal R. (2012). Pectin a by product of waste material: Extraction, characterization and application of grapefruit peel pectin in Jam. Faisalabad, Pakistan: Lambert academic publishing. [Recuperado de books.google.es/books?isbn=9783848433360](https://books.google.es/books?isbn=9783848433360)
- Alvarado, H. (2017). *Efecto del tiempo de residencia y tamaño de partícula en la reducción de plomo mediante bioadsorción con citrus sinensis en efluente minero del c.p. tambillo – Cajamarca, 2017* (tesis de licenciatura). Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/13239>
- American Public Health Association (2017) Standard Methods for the Examination of Water, .Wastewater. Canadá, 23.
- Arias J., Rengifo T. y Jaramillo M. (2007). Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) En la producción de fríjol voluble. Medellín (Colombia): CTP Print. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a1359s.pdf>
- Arizabalo, R. & Díaz, G. (1991) La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos.
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). Actualización de identificación de fuentes contaminantes en la cuenca del Río Moche. Recuperado de <http://sial.segat.gob.pe/documentos/informe-actualizacion-identificacion-fuentes-contaminantes-cuenca-rio>
- Autoridad Nacional del agua (2016) Protocolo Nacional de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Blanco, M. (2004) Gestión ambiental: camino al desarrollo. EUNED
- Cardona, A., Cabañas, D., & Zepeda A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). Ingeniería: *Revista Digital* 17 (1), 1-9. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/467/46729718001/>
- Castells, E. (2012). *Diccionarios de términos ambientales*. Recuperado de [books.google.es/books?isbn=9788499693705](https://books.google.es/books?isbn=9788499693705)
- Caivano, J. y López M. (2004). *Argencolor 2004. Actas: Color ciencia, artes proyecto y enseñanza*. Buenos Aires, Argentina: Grupo Argentino del color. Recuperado de [books.google.es/books?isbn=978-950-99498-9-8](https://books.google.es/books?isbn=978-950-99498-9-8)
- Ccencho, S. (2018). *Uso de biomasa seca (cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque, a nivel laboratorio – 2018* (tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/20198>
- Choquejahua, Y. (2018) *Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomasa de granos de cebada (Hordeum vulgare L.) y avena (Avena sativa L.) bajo condiciones altoandinas - Puno, 2018* (tesis de licenciatura) Universidad Peruana Unión. Recuperado de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1689>

- Escobar, J. (2002) La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y mar. Santiago Chile, Chile: División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Estrella, M. & González, V. (2014) Desarrollo sustentable, un nuevo mañana. México: Ebook.
- Estupiñán, V. (2014). *Evaluación de la vaina de frijol como material adsorbente en un sistema que opera en modo semibatch para la remoción de cadmio (Cd<sup>2+</sup>) presente en soluciones acuosas* (tesis de licenciatura). Universidad Libre. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10901/11241>
- Federovisky (10 de mayo de 2019) El Río Reconquista, el segundo cauce más contaminado de la Argentina. *Infobae*. Recuperado de: <https://www.infobae.com/tendencias/ecologia-y-medio-ambiente/2019/03/10/el-rio-reconquista-el-segundo-cauce-mas-contaminado-de-la-argentina/>
- Franco, J. (2014). *Evaluación de la vaina de frijol Cargamanto Rojo como material biosorbente en la remoción de cadmio (cd<sup>2+</sup>) presente en soluciones acuosas* (tesis de licenciatura). Universidad Libre. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10901/11223>
- Galetovic, a. & de Fernicola, N. (2003) Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciencias Farmacéuticas*, 39 (4), 365-372. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-93322003000400003>
- Gómez, D. (2003) Evaluación de impacto ambiental. Madrid, España: Mundi- prensa.
- Gómez, D. & Gómez, T. (2013) Evaluación de impacto ambiental. Madrid, España: Mundi- prensa.
- González, A (2002). *La preocupación por la calidad del medio ambiente. Un modelo cognitivo sobre la conducta ecológica* (tesis de doctorado) Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/4390/1/T26479.pdf>
- Gonzales, R. (2012). Los derechos humanos y el riesgo que causa el agua contaminada del río Moche en Trujillo, Perú. *Ciencia y Tecnología, Escuela de postgrado-UNT: Revista Digital*, 181-197. Recuperado de: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/200>
- Goldman, L y Schafer, A. (2013). *Tratado de medicina interna*. Elsevier. Recuperado de: [books.google.es/books?isbn= 8480869712, 9788480869713](https://books.google.es/books?isbn=8480869712,9788480869713)
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V. & Borbón, H. (2012). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pírra. *Revista D Tecnología en Marcha: Revista Digital*, 26 (1), 27-36. Recuperado de [http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/1119](http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1119)
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., & Huaranga, F. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980-2010, La Libertad- Perú. *Scientia Agropecuaria: Revista Digital*, 3, 235-247. Recuperado de: [www.sci-agropecu.unitru.edu.pe](http://www.sci-agropecu.unitru.edu.pe)
- Jacobs, M. (1996) Economía verde; Medio ambiente, desarrollo sostenible y la política del futuro. Barcelona, España: ICARIA.
- Jiménez, L. (2013) Ecoturismo: Oferta y desarrollo sistémico regional. Colombia: Ecoe Ediciones.

- Lewinsky, A. (2006) Hazardous materials and wastewater: treatment, removal and analysis. New York, Estados Unidos: Nova Science Publishers.
- Leite, C. (2017). Extração de pectina de goiaba cultivar Pedro Sato: Efeito das condições de extração. Brasil: Novas Edições Acadêmicas. Recuperado de [books.google.es/books?isbn=6202032294](https://books.google.es/books?isbn=6202032294)
- Ley N°28611. Ley General del Ambiente. Lima, Perú, 15 de octubre de 2005.
- Ley N°29338. Ley de Recursos Hídricos. Lima, Perú, 31 de marzo de 2009.
- Liñán, R. (2016) Remoción de arsénico en agua por raíces de cebolla, *Allium cepa*, bajo condiciones de laboratorio. *Revista científica de la Facultad de Ciencias Biológicas: Revista Digital*, 36 (2), 27-32. Recuperado de <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/1702>
- López, A. y Macaya, C. (s.f.). *Libro de la salud cardiovascular del Hospital Clínico San Carlos y la fundación BBVA*. Recuperado de [books.google.es/books?isbn=8496515923](https://books.google.es/books?isbn=8496515923), 9788496515925
- Martínez, Y. (16 de noviembre de 2015). Río Moche sigue contaminado por aguas residuales y relaves del Ande. *La República*. Recuperado de <https://larepublica.pe/sociedad/896447-rio-moche-sigue-contaminado-por-aguas-residuales-y-relaves-del-ande/>
- MINAM, Perú. Decreto Supremo N°004-2017, (7 de junio, 2017)
- Montes, C. & Cárdenas, R. (21 de agosto de 2019) Informe del Banco Mundial alerta presencia de arsénico en el agua de 83 localidades de Chile. *Que Pasa*. Recuperado de <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/informe-del-banco-mundial-alerta-de-la-presencia-de-arsenico-en-el-agua-en-83-localidades-del-pais/790683/#>
- Montero, J.; Díaz, C.; Guevara, F.; Cepeda, A. & Barrera, J. (2013) Modelo para medición de eficiencia real de producción y administración integrada de información en planta de beneficio. Centro de Investigación en Palma de Aceite – Cenipalma.
- Moreno, C y Chaparro, E. (2008). Conceptos Básicos para Entender la Legislación Ambiental Aplicable a la industria en los países andinos. Recuperado de [books.google.es/books?isbn=9789213231920](https://books.google.es/books?isbn=9789213231920)
- Municipalidad Provincial de Otuzco (2009). El Río Moche. Municipalidad Provincial de Trujillo, 1, p.5
- Ordoñez, A. (2015). *Bioadsorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (Citrus Sinensis) molida, Machala* (tesis de licenciatura). Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1897/1/CD00308.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (2006) Amenaza de arsénico en Bangladesh. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0605sp1.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación (1992) Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe.
- Parraga, L. (2018). *Eficacia de la bioadsorción mediante la mezcla de la cáscara de Lima y Naranja a diferentes concentraciones de las aguas del río Rímac – Lima*

- 2018 (tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/19287>
- Ramón, F. (2017) *Capacidad del residuo de la cebada "Hordeum vulgare" para la absorción de cromo (Cr+6) en aguas contaminadas a nivel del laboratorio 2017* (tesis de grado) Universidad César Vallejo. Recuperado de: [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10356/Ramon\\_JF.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10356/Ramon_JF.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rangel, E.; Montañez, L.; Luévanos, M. & Balagurusamy, N. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 33, 103-118. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n2/2395-8030-tl-33-02-00103.pdf>
- Resolución Jefatural N° 196-2018-ANA. Declaran el Estado de Emergencia de recursos hídricos por inminente riesgo de afectación de la calidad del agua del río Moche. Lima, Perú, 06 de julio de 2018.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: Revista Digital*, 2 (2), 66-77. Recuperado de [http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/view/5447](http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447)
- Ríos, P. (2014). *Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo* (tesis de licenciatura). Universidad Técnica de Machala. Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1579>
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., y Ortiz, L., (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de Humedales Artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 25 (3), 157 -167. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000300004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004)
- Salas, G. (2019). *Tiempo de contacto y PH de la cáscara de granadilla en la biosorción de zinc en aguas del río grande – Quiruvilca* (tesis de licenciatura). Universidad Privada Del Norte. Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14974>
- Sandee LaMotte (7 de mayo, 2019) Arsénico en agua potable daña corazones de adultos y jóvenes, dice estudio. *CNN*. Recuperado de <https://cnnespanol.cnn.com/2019/05/07/arsenico-en-agua-potable-dana-corazones-de-adultos-jovenes-dice-estudio/>
- Sarkar, B. (2005) *Heavy Metal in the environment*. New York, Estados Unidos: Marcel Dekker. 10.1201/9780203909300
- SEDALIB (2018) *Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Moche como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A.* Recuperado de <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5683862528.pdf>
- Sharma, S. (2015) *Heavy Metals in Water*. Japiur, India: Royal Society of Chemistry
- Sidhu, M., Sama, P., Parmar, J., y Bhatt, S. (2014). Biosorption of Arsenic (III) from drinking water by using low cost biosorbents derived from peels of Oranges,

- Turnip and Peanut shells. *International Journal of Pharmaceutical Research & Drug: Revista Digital*, 1 (1), 66-69.
- Tejeda, L. Tejeda, C., Marimón, W. y Villabona A. (2014). Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus Sinensis* y *Musa Paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución. *Luna Azul: Revista Digital*. doi: 124-142. 10.17151/luaz.2014.39.8.
- Tejeda, C.; Herrera, A. & Núñez, J. (2016). *Remoción de plomo por biomasas residuales de Cáscara de Naranja (Citrus sinensis) y zuro de maíz (Zea mays) (tesis de licenciatura)*. Universidad de Cartagena. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a20.pdf>.
- Trelles, C., Herrera, A. & Nuñez, J.) *Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomasas vegetales inertes* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1152>
- Vázquez, F. (2016) *Biosorción de arsénico por hoja de moringa* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Recuperado de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/8299>
- Vera, K. & Moreno, A. (2014) *Remoción de arsénico del agua residual industrial de proceso mediante el método de bioadsorción* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. doi: 10.13140/RG.2.1.3164.9040.
- Vian, A. (2006). *Introducción a la química industrial*. Barcelona, España: Reverté, S.A. Recuperado de [books.google.es/books?isbn= 978-8429179330](https://books.google.es/books?isbn=978-8429179330)
- Vizcaíno, L. y Fuentes, N. (2014). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25 (1), pp. 43 - 60. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0124-81702015000100004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0124-81702015000100004)
- Volesky, B. (1990). *Biosorption of heavy metals*. Montreal, Canadá: McGill University
- Wang, S. & Mulligan, C. (2005) Occurrence of arsenic contamination in Canada: Sources, behavior and distribution. *Science of the Total Environment: Revista Digital*, 366 (2-3), 701-721. doi: [10.1016/j.scitotenv.2005.09.005](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.005)

## ANEXOS

### Anexo n°1: Lavado y cortado de la cáscara de *Citrus sinensis*



Nota: La ilustración presenta el lavado de la cascara de *Citrus sinensis* con agua destilada y posteriormente se cortó con tijera a un tamaño de 3cm. aproximadamente.

Anexo n°2: Lavado y cortado de la vaina de *Phaseolus vulgaris*



Nota: La ilustración presenta el lavado de la vaina de *Phaseolus vulgaris* con agua destilada y posteriormente se cortó con tijera a un tamaño de 3cm. aproximadamente.

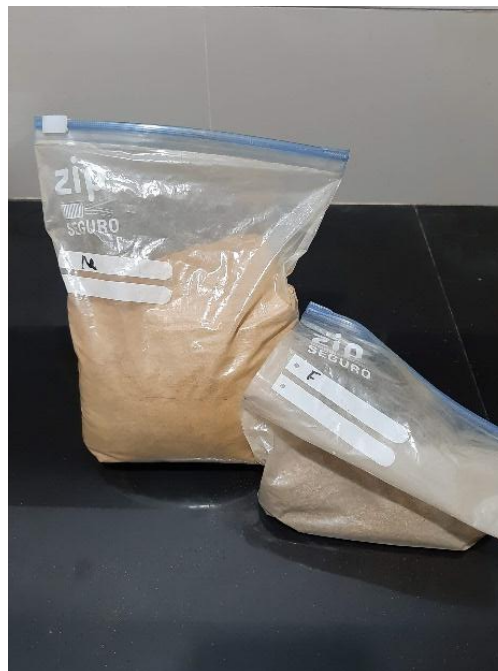


Anexo n°3: Secado de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y cáscara de *Citrus sinensis*



Nota: En la ilustración 3, se ingresa las biomásas en sus respectivas fuentes de metal en la estufa a una temperatura de 90 °C.

Anexo n°4: Molienda de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y cáscara de *Citrus sinensis*



Nota: En la ilustración 4, se muestra que ambas biomásas, son molidas mediante un molino a mano con el propósito de triturarlas y luego cada biomasa es guardada en bolsas ziploc respectivamente.

Anexo n°5: Tamización de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y cáscara de *Citrus sinensis*



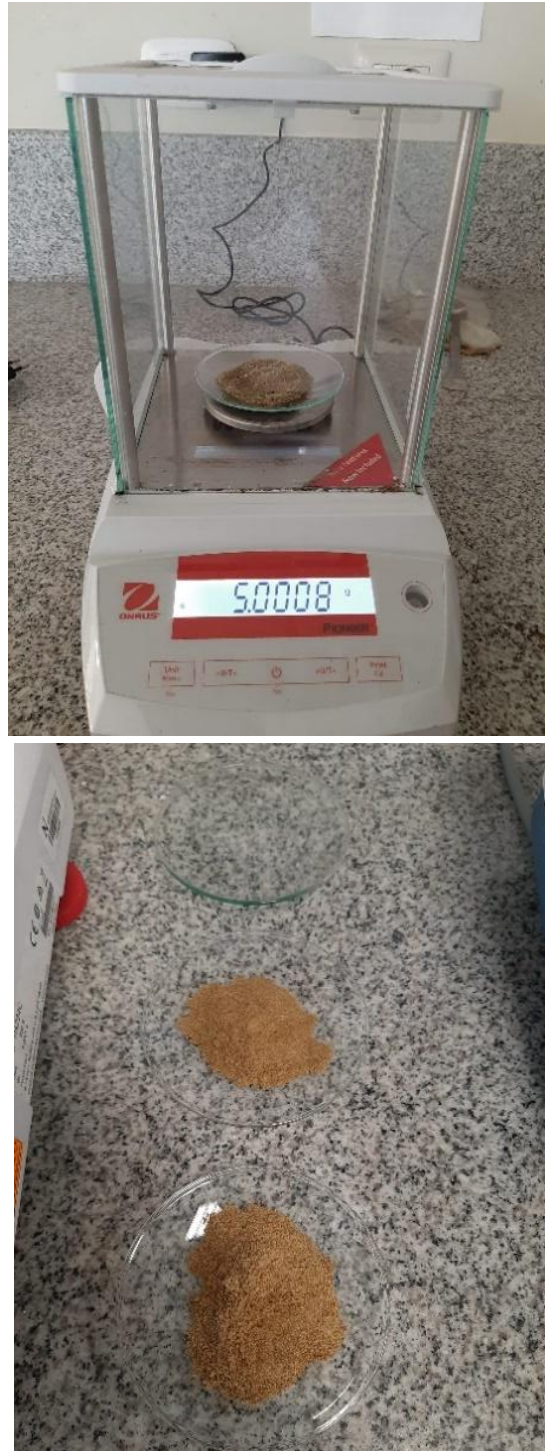
Nota: En la ilustración 5, se muestra el equipo de tamizado, en donde las partículas de diferentes tamaños pasan por los poros del tamiz con una malla N°40, para separar las partículas más finas con las partículas grandes.

Anexo n°6: Muestreo de agua del Río Moche



Nota: En la ilustración 6, ilustra el muestreo del agua del Río Moche, a la altura de Shorey para transportarlo en el cooler hasta el laboratorio para desarrollar el proceso de biosorción. Asimismo, muestra el pH in-situ del río Moche.

Anexo n°7: Peso en gramos de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y cáscara de *Citrus sinensis*, con la ayuda de la balanza analítica.



Nota: En la ilustración 7, ilustra el muestreo del agua del Río Moche, a la altura de Shorey para transportarlo en el cooler hasta el laboratorio para desarrollar el proceso de biosorción.

Anexo n°8: Muestra del Río Moche Rotulada



Nota: En la ilustración 8, ilustra el muestreo del agua del Río Moche, con su rotulado correspondiente previo a la aplicación del proceso de biosorción.

Anexo n°9: Mezcla de la biomasa con la muestra del agua del Río Moche



Nota: En la ilustración 9, se observa la mezcla de las diferentes biomazas con diferentes pesos (5 gr, 7gr y 10gr.) con 400 ml de muestra del río Moche.

Anexo n°10: Programación a una velocidad de agitación en un determinado tiempo mediante el equipo test de jarras



Nota: En la ilustración 10, se ilustra las muestras ya preparadas e instaladas en el test de jarras con una velocidad de agitación de 100rpm y 80rpm respectivamente en diferentes tiempos de 120 min y 180min.



Anexo n°11: Filtración de las muestras con la bomba de vacío



Nota: En la ilustración 11, se muestra el proceso de filtración con la ayuda de la bomba de vacío, teniendo la separación de las partículas de las biomazas en el papel filtro (sorbente) y el líquido de la muestra (sorbato).

Anexo n°12: Muestras digeridas después del proceso de biosorción



Nota: En la ilustración 12, refleja el proceso de digestión de las muestras, con la ayuda de una cocina eléctrica.

Anexo n°13: Muestras listas para su lectura de Arsénico.



Nota: En la ilustración 13, refleja todas las muestras después de su digestión, para su posterior lectura de Arsénico.


Anexo n°14: Lectura del Arsénico a las muestras después de su proceso de biosorción.



Nota: En la ilustración 14, ilustra el equipo de espectrofotómetro que se encargó de la lectura del arsénico con el método de generador de hidruros.

Anexo n°15: Cadena de custodia del muestreo de aguas del Río Moche

**Cadena de Custodia**

Código Número de custodia: 01		Nombre del proyecto: Eficiencia de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> en la biosorción de arsénico del agua del Río Moche.																									
Districto: Quivilca	Provincia: Santiago de Chuco	Dpto.: La Libertad	Responsable del muestreo: Yanela Ibañez Aterga																								
Código de campo: RMoche1	Fecha de muestreo: 09-09-2019	Hora de muestreo: 09:10	Tipo de muestra: Simple																								
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">Nº de envases por punto de muestreo</td> <td>P</td> <td>V</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </table>			Nº de envases por punto de muestreo	P	V	E		X																		
Nº de envases por punto de muestreo	P	V	E																								
		X																									
Preservación																											
<table border="1"> <tr><td>HCl</td><td></td></tr> <tr><td>H2SO4</td><td></td></tr> <tr><td>HNO3</td><td></td></tr> <tr><td>NaOH</td><td></td></tr> <tr><td>Otro</td><td>Ninguno</td></tr> </table>				HCl		H2SO4		HNO3		NaOH		Otro	Ninguno														
HCl																											
H2SO4																											
HNO3																											
NaOH																											
Otro	Ninguno																										
Parámetros físicos - químicos																											
<table border="1"> <tr><td>Metales</td><td>X</td></tr> <tr><td>Cromo hexavalente</td><td></td></tr> <tr><td>Nitrógeno total</td><td></td></tr> <tr><td>Nitrógeno amoniacal</td><td></td></tr> <tr><td>Nitratos</td><td></td></tr> <tr><td>Nitritos</td><td></td></tr> <tr><td>Fósforo total</td><td></td></tr> <tr><td>Fosfatos</td><td></td></tr> <tr><td>Cianuro</td><td></td></tr> <tr><td>Fenoles</td><td></td></tr> <tr><td>Sulfuros</td><td></td></tr> <tr><td>Fluoruros</td><td></td></tr> </table>				Metales	X	Cromo hexavalente		Nitrógeno total		Nitrógeno amoniacal		Nitratos		Nitritos		Fósforo total		Fosfatos		Cianuro		Fenoles		Sulfuros		Fluoruros	
Metales	X																										
Cromo hexavalente																											
Nitrógeno total																											
Nitrógeno amoniacal																											
Nitratos																											
Nitritos																											
Fósforo total																											
Fosfatos																											
Cianuro																											
Fenoles																											
Sulfuros																											
Fluoruros																											
Parámetros biológicos																											
<table border="1"> <tr><td>Coli.</td><td></td></tr> <tr><td>termotolerantes</td><td></td></tr> <tr><td>Coliformes totales</td><td></td></tr> <tr><td>Escherichia coli</td><td></td></tr> <tr><td>Enterococos</td><td></td></tr> <tr><td>Huevos Helmintos</td><td></td></tr> </table>				Coli.		termotolerantes		Coliformes totales		Escherichia coli		Enterococos		Huevos Helmintos													
Coli.																											
termotolerantes																											
Coliformes totales																											
Escherichia coli																											
Enterococos																											
Huevos Helmintos																											
Observaciones: El agua era de color rojizo																											
Entregado		Recibido																									
Nombre y apellidos: Yanela Ibañez Aterga		Nombre y apellidos:																									
Firma: 		Firma:																									
Fecha: 12-09-2019		Fecha:																									
Hora: 15:25		Hora:																									

Nota: En la ilustración 15, se evidencia el procedimiento controlado de las muestras, desde su toma hasta la recepción en el laboratorio.

Anexo n°16: Registro de datos de campo

**Registro de Datos de Campo**

CUENCA: Río Moché RESPONSABLE: Yaneta Ibañez Arteaga

Punto de monitoreo	Descripción origen/ubicación	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas		Altura msnm	Fecha	Hora
						Longitud	Latitud			
01	Se encuentran entes de llegar al cementerio de Shocoy; hay una entrada con un terreno de accesibilidad, personas de como negocio y al llegar es de color rojo-rojo.	Shocoy	Ciudadela	Santiago de Chuco	La Libertad	9115092.7 mS	792332.41 mE	3563 msnm	09-07-19	07:10

*[Firma manuscrita]*  
Firma del responsable del monitoreo

Anexo n°17: Registro de identificación del Punto de muestreo

**Registro de Identificación del Punto de Monitoreo**

Nombre del cuerpo de agua: Río Moche  
 Clasificación del cuerpo de agua: Río  
 Código y nombre de la cuenca: 137716 Moche

**IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO**

Código del punto de monitoreo: R Moch 1

Descripción: Se encuentra a 50 metros aprox. de la carretera principal a Shorey, pasando el puente Constancia, y antes del cementerio de Shorey, se observa una zona pedregosa y una zona de entrada al punto de monitoreo.

Accesibilidad: Pasando el puente Constancia (ida a Shorey) hay una entrada al río Moche; con un tramo despejado para caminar, a los costados hay cumulos de piedras, la zona es despejada de arbustos o plantas.

Representatividad: Bajo caudal y sin interferencias en el paso del agua, con una profundidad de 30cm aprox.

Finalidad del monitoreo: Determinar la concentración de arsénico existente en el punto de muestreo y ver la eficiencia del proceso de biosorción de las biomásas.

Reconocimiento del entorno: Es una zona poco accidentada (presencia de piedras y rocas), con tramos de acceso, no hay presencia de edificios ni construcciones.

**UBICACIÓN**

Distrito	Provincia	Departamento	Localidad
<u>Quiruvilca</u>	<u>Santiago de Chuco</u>	<u>La Libertad</u>	<u>Shorey</u>

Coordenadas (WGS84)

Sistema de coordenadas

- Proyección UTM
- Geográficas

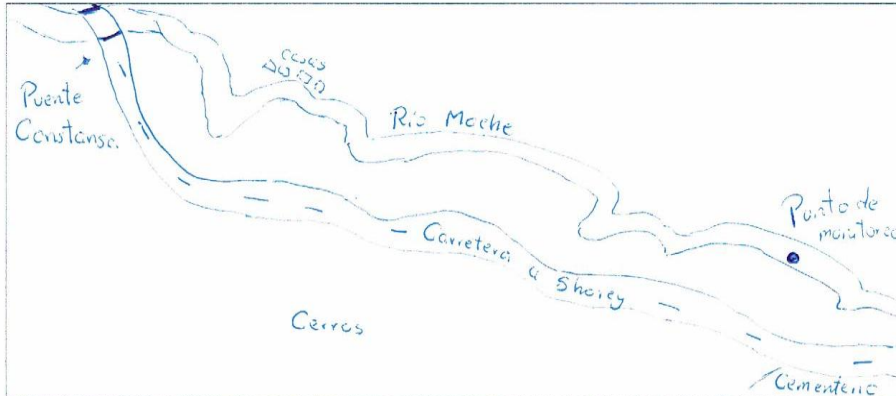
Norte/Latitud

Zona:

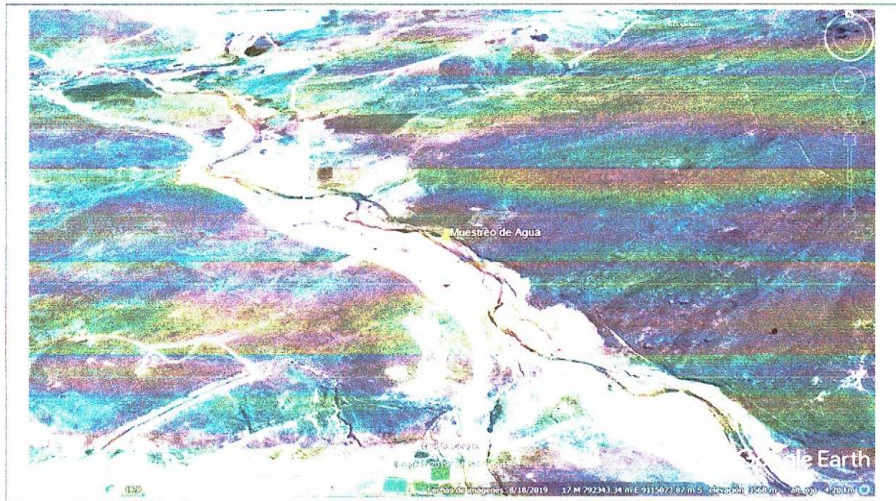
Este/Longitud

Altitud

**Croquis**



**Fotografía**



Elaborado por:

Fecha:

Nota: En la ilustración 17, muestra datos más detallados del lugar de muestreo de aguas en el Río Moche



Anexo n°18: Ficha de validación del instrumento de registro de datos de la concentración inicial y final de arsénico Validación de instrumentos de la Concentración inicial y final de arsénico.

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES DEL EXPERTO

1.1. Apellidos y nombres:  
 1.2. Grado:  
 1.3. Cargo:  
 1.4. Nombre del instrumento a evaluar: Resultados iniciales y finales del proceso de biosorción de arsénico con la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y la vaina de frijol (*Phaseolus vulgaris*).  
 1.5. Autor del instrumento: Gutiérrez de la Cruz, Annie Ibañez Arteaga, Yanela

II. Aspectos de validación

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
CLARIDAD	Esta formulado de manera clara y comprensible											X			
OBJETIVIDAD	Esta adecuado a los fines correspondientes												X		
ACTUALIDAD	Está enfocado a los objetivos y necesidades de la investigación													X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica											X			
SUFICIENCIA	Se toma en cuenta los aspectos metodológicos											X			
INTENCIONALIDAD	Esta relacionado para valorar las variables											X			
CONSISTENCIA	Se ampara en los fundamentos técnicos y científicos											X			
COHERENCIA	Existe conexión entre los objetivos, el problema, hipótesis, variables e indicadores													X	
METODOLOGÍA	Corresponde a la metodología aplicada para probar la hipótesis												X		
PERTINENCIA	El instrumento muestra relación entre los componentes de la investigación												X		


III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

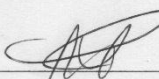
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación  51

- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación


IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN  95%

Trujillo, 26 de Noviembre del 2019


  
 .....  
 Y. Cárdenas Gutiérrez  
 ING. QUÍMICO  
 R. CIP. 146220

  
 .....  
 Nombre y apellidos:  
 Liana Cárdenas Gutiérrez  
 DNI: 40221041

Resultados iniciales y finales del proceso de biosorción de arsénico con la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) y la vaina de frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )						
MASA DE BIOSORBENTE(gr)	TIPO DE BIOSORBENTE	TIEMPO DE BIOSORCIÓN (min)	VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)			
			80		100	
			Concentración de As	Porcentaje de Remoción (%)	Capacidad de Biosorción	Concentración de As
5	<i>Citrus sinensis</i>	120				
5	<i>Citrus sinensis</i>	180				
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120				
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180				
7	<i>Citrus sinensis</i>	120				
7	<i>Citrus sinensis</i>	180				
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120				
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180				
10	<i>Citrus sinensis</i>	120				
10	<i>Citrus sinensis</i>	180				
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120				
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180				
Concentración inicial de arsénico						



Nombre y Apellido:  
Liana Cárdenas Gutiérrez  
DNI: 4022104



Liana Y. Cárdenas Gutiérrez  
ING. QUÍMICO  
R. CIP. 146220

Nota: En la ilustración 18, muestra la ficha en la que se registra los resultados obtenidos en el proceso de biosorción y la misma que fue aprobada con un 95% de valoración.

Anexo n°19: Matriz de Consistencia

CÁSCARA DE *CITRUS SINENSIS* Y VAINA DE *PHASEOLUS VULGARIS* EN LA BIOSORCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA DEL RÍO MOCHE.

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE 1	METODOLOGIA
	H0: La eficiencia de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> tiene un efecto significativo en la biosorción de arsénico de agua del río Moche.	Determinar la eficiencia de la biomasa de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> en la biosorción de arsénico del agua del Río Moche.	Vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y cáscara de <i>Citrus sinensis</i>	Dónde: VI= Vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y cáscara de <i>Citrus sinensis</i> VD= Biosorción de Arsénico X = relación de variables
	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE 2	POBLACIÓN
¿Cuál es la eficiencia de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> en la biosorción de arsénico del agua del río Moche?	- El tiempo de contacto de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> tiene un efecto significativo en el proceso de biosorción de arsénico de aguas del río Moche.	Determinar la influencia del tiempo de contacto de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> en el proceso de biosorción de arsénico	Biosorción arsénico	El agua del río Moche a la altura de Shorey
	- El tiempo de contacto de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> no tiene un efecto significativo en el proceso de biosorción de arsénico de aguas del río Moche.			<b>MUESTRA</b>
	- La velocidad de agitación de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> tiene un efecto significativo en el proceso de biosorción de arsénico de aguas del río Moche.	Determinar la influencia de la velocidad de agitación de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> en el proceso de biosorción de arsénico.		8 litros de agua del río Moche
	- La velocidad de agitación de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> no tiene un efecto significativo en el proceso de biosorción de arsénico de aguas del río Moche.			
	- El porcentaje de biosorción de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> tiene un efecto significativo en el proceso de biosorción de arsénico de aguas del río Moche.	Determinar el porcentaje de biosorción de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> del proceso de biosorción de arsénico.		
	- El porcentaje de biosorción de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> y la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> no tiene un efecto significativo en el proceso de biosorción de			

arsénico de aguas del río Moche.

Anexo n°20: Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE
<b>EFICIENCIA DE CÁSCARA DE CITRUS SINENSIS</b>	Quijano (1991) citado por Valderrama (1999), explica que las cáscaras de naranja que resultan del proceso de extracción del jugo, pueden ser utilizadas para la obtención de pectinas y que el residuo que permanece después de la obtención de éstas, por su naturaleza carbonosa, es susceptible de ser utilizado para la elaboración de carbón activado en un proceso posterior.	Gracias a la pectina de la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> se utilizará para absorber el arsénico mediante el intercambio iónico entre estos solutos.	Propiedades Físicoquímicas	Peso de la cáscara	gr
<b>EFICIENCIA DE VAINA DE PHASEOLUS VULGARIS</b>	Estupiñan (2014), menciona que la vaina de frijol por ser un residuo que se genera en grandes cantidades y no tener algún tipo de aprovechamiento, se convierte en un material potencial para ser utilizado como biosorbente en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados.	Gracias a sus propiedades de absorción de la vaina de <i>Phaseolus vulgaris</i> se realizará el intercambio iónico.	Propiedades Físicoquímicas	Peso de la cáscara	gr
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
<b>BIOSORCIÓN DE ARSÉNICO</b>	Según Barkay y Schaefer 2001 citado por Volke, Velasco y De la Rosa (2005), define que la biosorción es la separación pasiva y metaloides por interacciones con material	Eliminación de arsénico en aguas superficiales del río Moche, mediante la cáscara de <i>Citrus sinensis</i> y la vaina de <i>Phaseolus</i>	Factores de Biosorción	Tiempo de Contacto Velocidad de agitación	Minutos Rpm

biológico vivo o muerto y es, hasta ahora, el *vulgaris*.  
acercamiento más práctico y ampliamente  
usado para la biorremediación de metales.

---

Capacidad de Biosorción	Porcentaje de biosorción	%
----------------------------	-----------------------------	---

---

Anexo n°21: Certificado de análisis de los resultados respectivamente firmado y visado

Planta de Tratamiento de Agua Potable- Alto Moche

LABORATORIO FISICOQUIMICO Y MUMICROBIOLOGICO DE LA  
DIVISIÓN DE AGUA POTABLE DEL PECH

INFORME DE RESULTADOS

Producto	: Agua
Asunto	: Análisis de Arsénico en Muestras de Agua Superficial
Método Analítico	: Generador de Hidruros
Marca del Equipo	GBC
Modelo del Equipo	: HG3000
Fecha de Recepción	: 12 de Septiembre del 2019
Fecha de Análisis	: 13 de Septiembre del 2019
Fecha de Entrega	: 16 de Septiembre del 2019

Biosorción de la Cáscara de Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) a 5 gramos			
		VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)	
		80	100
TIEMPO DE BIOSORCIÓN (min)	120	0.77900817 mg/L	1.04471382 mg/L
	180	0.96401803 mg/L	1.17658255 mg/L

Biosorción de la Cáscara de Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) a 7 gramos			
		VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)	
		80	100
TIEMPO DE BIOSORCIÓN (min)	120	1.02306373	1.44425639
	180	1.28680119	1.69421652

Biosorción de la Cáscara de Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) a 10 gramos			
		VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)	
		80	100
TIEMPO DE BIOSORCIÓN (min)	120	1.24940558	2.08194995
	180	1.26711929	2.25515067

Biosorción de la Vaina de Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) a 5 gramos			
		VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)	
		80	100
TIEMPO DE BIOSORCIÓN (min)	120	1.05849115	1.74735765
	180	1.49739752	2.26695981

Biosorción de la Vaina de Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) a 7 gramos			
		VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)	
		80	100
TIEMPO DE BIOSORCIÓN (min)	120	1.39898802	2.6035203
	180	1.62729806	2.83773491



Biosorción de la Vaina de Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) a 10 gramos				
		VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)		
		80	100	
TIEMPO DE	120	2.20200954	3.19004092	
BIOSORCIÓN (min)	180	2.06620443	3.24121386	
Conc.	7.060	7.090	7.023	7.058
Inicial				
Arsénico				

16 de Septiembre de 2019, Trujillo

Se informa que cualquier modificación no autorizada, falsificación o fraude, de los resultados que refleja este informe, serán sancionados o procesados bajo el régimen de la ley.

VPM

Responsable de Analizar las muestras

  
**Wilmar E. Díaz León**  
 ING. QUÍMICO  
 R.CIP 28787




Firma y sello  
Nombre y apellidos:

Trujillo- Perú

Nota: En la ilustración 21, se muestra los resultados de la investigación firmado y visado por el responsable del análisis del laboratorio físicoquímico y microbiológico de la división de agua potable del PECH

Anexo n°22: Ficha de calibración del equipo de medidor Multi- parámetro portátil.



**OMEGA PERU S.A.**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**0081-OP.M-2018**

**ÁREA DE METROLOGÍA**

---

**Solicitante** : UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.  
**Dirección** : Av. El Ejercito N° 920 - 976, Trujillo  
**Expediente** : 27717  
**Referencia** : O/C N° PER03-0000045795  
**Instrumento de Medición** : MEDIDOR MULTIPARÁMETRO (EN PARÁMETRO DE PH)  
**Alcance de Indicación** : 0,00 a 14,00 pH (\*)(\*\*)  
**Resolución** : 0,001 / 0,01 / 0,1 pH (\*)(\*\*)  
**Marca** : Hach Co.  
**Modelo** : HQ40d  
**Serie** : 130800092366  
**Código** : S/N  
**Procedencia** : U.S.A.  
**Modelo del Electrodo** : PHC30101  
**Serie del Electrodo** : 180782577017

**Método de Calibración**  
 La calibración se ha realizado siguiendo el procedimiento PC-OMEGA-001 para la Calibración de pHmetros Digitales

**Fecha de Calibración** : 26/04/2018  
**Lugar de Calibración** : LABORATORIO DE METROLOGÍA - OMEGA PERU S.A.

**Condiciones Ambientales**

Temperatura	24 °C
Humedad Relativa	70 %
Presión Atmosférica	1001 mbar

**Patrones de Referencia**

Los resultados obtenidos tienen trazabilidad a la NIST / IUPAC		Certificado de Calibración / N° de Lote
Termómetro Digital - Cole Parmer - Model 90205-01		T-2749-2017
Material de Referencia Certificado Marca Radiometer pH 4,005 @ 25 °C		1187-D-K-15184-01-00 2017-08 / C02432
Material de Referencia Certificado Marca Radiometer pH 7,000 @ 25 °C		1185-D-K-15184-01-00 2017-08 / C02430
Material de Referencia Certificado Marca Radiometer pH 10,012 @ 25 °C		1170 -D-K-15184-01-00 2017-06 / C02417

**Resultados**

Indicación (pH)	Valor de referencia (pH)	Corrección (pH)	Incertidumbre (pH)
4.00	4.004	0.004	0.012
7.01	7.003	-0.007	0.012
10.01	10.023	0.013	0.012

Nota: Los resultados de Calibración del medidor de pH están dados a la temperatura de referencia de 23.9 °C


**Incertidumbre**  
 La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %

**Observaciones**

- Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.
- Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva
- (\*) Indicado en el manual de instrucciones del fabricante
- (\*\*) Unidades de pH
- Los resultados corresponden al promedio de 3 mediciones

---

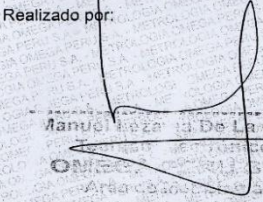
Sello



HC-OP.M-001

Fecha de Emisión 26/04/2018

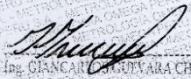
Realizado por:



Manuel Ibañez de la Cruz

OMEGA PERU S.A.

Responsable del Área de Metrología

Giancarlo Córdova

ING. JE. SERVICIO TÉCNICO

OMEGA PERU

Pág 1 / 1

Prohibida su reproducción total o parcial de este documento  
 web: www.omegaperu.com.pe Telfs.: 336-6523 • 651-8790 Fax: 651-8788

Nota: En la ilustración 22, se muestra la ficha de calibración del equipo de medidor Multi- parámetro portátil, que se usó para medir el parámetro de pH.



Anexo n°23: Ficha de calibración del equipo de bomba de vacío

**METROTEC**

**INFORME DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**  
**MT-MP-159-2018**

Fecha de Emisión: 2018-09-20

**1. SOLICITANTE : UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.**  
**DIRECCIÓN : Mza. G Lote 24 Urb. Dean Saavedra El Cortijo, San isidro - Trujillo - LA LIBERTAD**

**2. EQUIPO / INSTRUMENTO : BOMBA DE VACIO**  
**Marca : GAST**  
**Modelo : DOA-P504-BN**  
**N° de Serie : 1014007406**  
**Código de Identificación : 1-017833**  
**Fecha del servicio : 2018-09-13**


**3. DETALLES DEL SERVICIO REALIZADO:**

- Desmontaje general del equipo.
- Limpieza a la estructura interna y externa del equipo.
- Limpieza y ajuste de contactos electricos de la bomba.
- El instrumento queda operativo.

**4. RECOMENDACIONES:**

- Se recomienda mantener el equipo en un ambiente limpio.
- Se recomienda realizar periódicamente mantenimientos preventivos.

**5. TÉCNICO RESPONSABLE:**  
Jonathan Valer Cusipaucar

  
LABORATORIO DE METROLOGÍA Y TÉCNICAS S.A.C.  
JUAN C. QUISPE MORALES  
METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

**METROLOGÍA Y TÉCNICAS S.A.C.**  
Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego – LIMA - PERÚ  
Telf : (511) 540-0642 Cel. : (511) 971 439 272 / 971 439 282 RPM: \*849 272 / \*849 282  
Email: metrologia@metrologiatecnicas.com / ventas@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

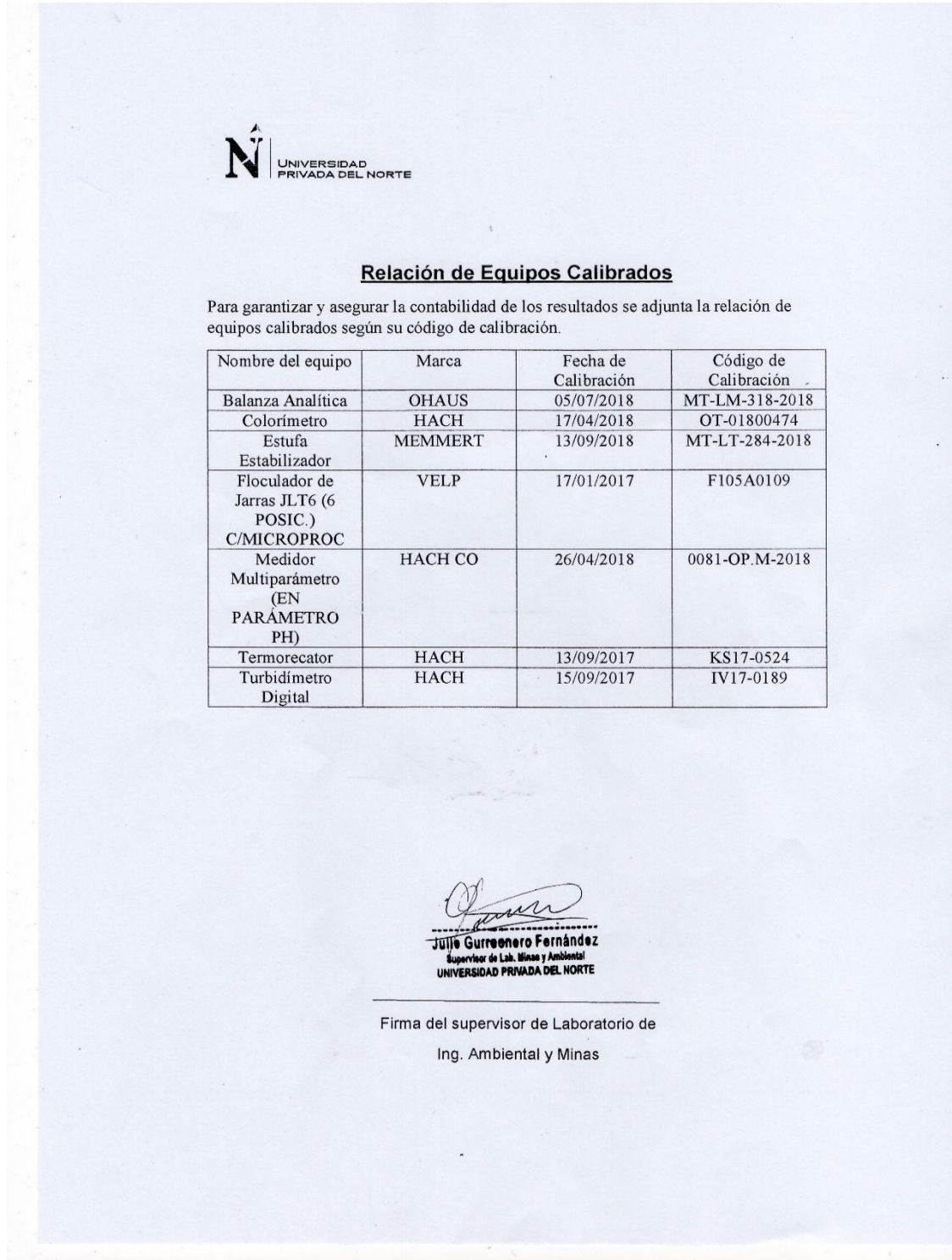
Nota: En la ilustración 23, se muestra la ficha de calibración de bomba de vacío, que se usó para filtrar las muestras y separar las partículas de la biomasa y el líquido de la muestra, después del proceso de biosorción.


Anexo n°24: Ficha de calibración de la balanza analítica

<b>METROTEC</b>		<b>METROLOGÍA &amp; TÉCNICAS S.A.C.</b>
		<small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Masas</i>		<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b> <b>MT - LM - 317 - 2018</b>
		<small>Página 1 de 4</small>
<b>1. Expediente</b>	<b>18529</b>	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA &amp; TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
<b>2. Solicitante</b>	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.</b>	
<b>3. Dirección</b>	Mza. G Lote. 24 Urb. Dean Saavedra El Cortijo - Trujillo - LA LIBERTAD	
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ANALITICA</b>	
<b>Capacidad Máxima</b>	<b>220 g</b>	
<b>División de escala (d)</b>	<b>0,0001 g</b>	
<b>Div. de verificación (e)</b>	<b>0,001 g</b>	
<b>Clase de exactitud</b>	<b>I</b>	
<b>Marca</b>	<b>OHAUS</b>	
<b>Modelo</b>	<b>PA224C</b>	
<b>Número de Serie</b>	<b>B713883163</b>	
<b>Capacidad mínima</b>	<b>0,01 g</b>	
<b>Procedencia</b>	<b>U.S.A.</b>	
<b>Identificación</b>	<b>NO INDICA</b>	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2018-07-05</b>	
<b>Fecha de Emisión</b>	<b>Jefe del Laboratorio de Metrología</b>	<b>Sello</b>
<b>2018-07-05</b>	 <b>JUAN C. QUISPE MORALES</b>	
<b>Metrología &amp; Técnicas S.A.C.</b> Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Telf.: (511) 540-0642 Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282 RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282 RPC: 940037490		email: metrologia@metrologiatecnicas.com ventas@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicas.com

Nota: En la ilustración 24, se muestra la ficha de calibración que se usó para pesar en gramos la cáscara de *Citrus Sinensis* y la vaina de *Phaseolus vulgaris* después de su proceso de molienda.

Anexo n°25: Relación de Equipos Calibrados (Floculador de Jarras JLT6)

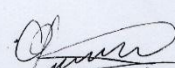




**Relación de Equipos Calibrados**

Para garantizar y asegurar la contabilidad de los resultados se adjunta la relación de equipos calibrados según su código de calibración.

Nombre del equipo	Marca	Fecha de Calibración	Código de Calibración
Balanza Analítica	OHAUS	05/07/2018	MT-LM-318-2018
Colorímetro	HACH	17/04/2018	OT-01800474
Estufa	MEMMERT	13/09/2018	MT-LT-284-2018
Estabilizador			
Floculador de Jarras JLT6 (6 POSIC.) C/MICROPROC	VELP	17/01/2017	F105A0109
Medidor Multiparámetro (EN PARÁMETRO PH)	HACH CO	26/04/2018	0081-OP.M-2018
Termorecator	HACH	13/09/2017	KS17-0524
Turbidímetro Digital	HACH	15/09/2017	IV17-0189

  
**Julio Gurreñero Fernández**  
 Supervisor de Lab. Minas y Ambiental  
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

Firma del supervisor de Laboratorio de  
Ing. Ambiental y Minas

Nota: En la ilustración 25, se muestra la relación de equipos calibrados, en donde dicha relación se encuentra el equipo de Floculador de Jarras JLT6., que se usó para el proceso de biosorción con una velocidad de agitación de 80 y 100 rpm y un tiempo de 120min y 180min para cada biomasa.

Anexo n°26: Resultados de concentraciones de arsénico del proceso de biosorción de las aguas del río Moche

Masa de biosorbente (gr)	Tipo de biosorbente	Tiempo de biosorción (min)	Velocidad de agitación (rpm)							
			80				100			
			Concentración final de As			Concentración promedio de As	Concentración final de As			Concentración promedio de As
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	1.040	1.072	1.062	<b>1.058</b>	1.755	1.741	1.745	<b>1.747</b>
5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	1.491	1.645	1.356	<b>1.497</b>	2.257	2.259	2.285	<b>2.267</b>
5	<i>Citrus sinensis</i>	120	0.857	0.683	0.797	<b>0.779</b>	1.057	1.047	1.031	<b>1.045</b>
5	<i>Citrus sinensis</i>	180	0.926	0.994	0.972	<b>0.964</b>	1.187	1.175	1.169	<b>1.177</b>
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	1.427	1.381	1.389	<b>1.399</b>	2.612	2.602	2.598	<b>2.604</b>
7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	1.629	1.631	1.621	<b>1.627</b>	2.824	2.838	2.852	<b>2.838</b>
7	<i>Citrus sinensis</i>	120	1.021	1.035	1.013	<b>1.023</b>	1.454	1.436	1.442	<b>1.444</b>
7	<i>Citrus sinensis</i>	180	1.289	1.301	1.271	<b>1.287</b>	1.688	1.692	1.702	<b>1.694</b>
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	120	2.202	2.206	2.198	<b>2.202</b>	3.23	3.31	3.03	<b>3.19</b>
10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	180	2.068	2.074	2.056	<b>2.066</b>	3.247	3.247	3.229	<b>3.241</b>
10	<i>Citrus sinensis</i>	120	1.245	1.249	1.253	<b>1.249</b>	2.084	2.076	<b>2.086</b>	<b>2.082</b>
10	<i>Citrus sinensis</i>	180	1.273	1.265	1.263	<b>1.267</b>	2.261	2.253	2.251	<b>2.255</b>
Concentración inicial de arsénico			7.056	7.062	7.056	<b>7.058</b>				

Nota: Resultados de concentraciones de arsénico del proceso de biosorción de las aguas del río Moche

