



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



## **ESCUELA DE POSGRADO**

### **DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Tratamiento alternativo con biomasa vegetal para disminuir la  
concentración de arsénico en agua subterránea utilizada como  
agua potable en el distrito de Mórrope**

## **Tesis**

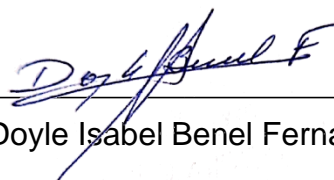
**Presentada para optar el Grado Académico de  
Doctora en Ciencias Ambientales**

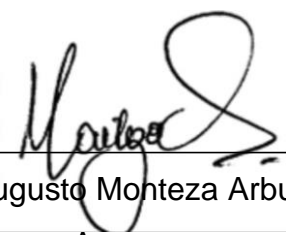
**PRESENTADA POR:**

**M. Sc. Doyle Isabel Benel Fernández**

**LAMBAYEQUE — 2022**

**Tratamiento alternativo con biomasa vegetal para disminuir la concentración de arsénico en agua subterránea utilizada como agua potable en el distrito de Mórrope**

  
Mg. Doyle Isabel Benel Fernández.

  
Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu  
Asesor

**LINEA DE INVESTIGACION:** Energía y medio ambiente tecnologías limpias, mitigación de impactos

**LUGAR**

Presentada a la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para optar el Grado académico de: DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES

APROBADO POR:

  
Dr. Cesar Alberto García Espinoza

  
Dr. Adolfo Segundo Diaz Eyzaguirre

  
Dra. Gianina Llontop Barandiarán

Lambayeque 2022

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a Él todo es posible, a mi madre que desde el cielo me protege, a mi familia por todo el apoyo y comprensión brindada

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia y amigos por todo el soporte espiritual y material que me han brindado.

A mi asesor Dr. Cesar Monteza Arbulu por su ayuda y paciencia durante el proceso de desarrollo de esta tesis doctoral.

A los encargados de los diferentes laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo en los que se ejecutó los diferentes análisis necesarios para este trabajo.

Un agradecimiento especial al Ing. Mariano De La Cruz Sarmiento por su apoyo.

## INDICE

CONTENIDO	Pagina
INDICE .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
INDICE DE ANEXOS .....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	8
I. INTRODUCCION.....	9
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	9
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.4 OBJETO.....	14
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO .....	14
1.6 OBJETIVOS.....	15
1.7 HIPÓTESIS .....	15
II. DISEÑO TEORICO.....	15
2.1 ANTECEDENTES .....	15
2.2 BASE TEÓRICA.....	23
2.2.1 Metal pesado .....	23
2.3 Tratamiento alternativo a las tecnologías convencionales .....	27
2.3.1 Biosorción. ....	27
2.3.2 Mecanismo de Biosorción. ....	30
2.4 Material residual vegetal como Biosorbente.....	31
2.5 Arsénico toxicidad.....	31
2.6 Frijol de Palo. ....	34
2.7 Bases Conceptuales (Operacionalización o categorización de variables) .....	35
III. DISEÑO METODOLOGICO .....	36
3.1 Ubicación y Ambiente de desarrollo experimental .....	37
3.2 Población y Muestra.....	37
3.3 Metodología .....	37
3.3.1 Recolección y caracterización del biosorbente: cascara de frejol de palo (Cajanus caján L.) .....	37
3.3.2 Análisis granulométrico.....	38
3.3.3 Análisis infrarrojo .....	39
3.4 Biosorción discontinua de arsénico.....	40

<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
4.1 Procesamiento de la cascara de frejol de palo (Cajanus cajan) .....	42
4.2 <b>Resultados del Análisis de Infrarrojo .....</b>	<b>43</b>
4.3 <b>Análisis Físico-químicos.....</b>	<b>46</b>
4.3.1 Muestra de agua de pozo .....	46
4.3.2 <b>Proceso de Biosorción .....</b>	<b>46</b>
4.3.3 <b>DISCUSION DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>VI BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>52</b>
<b>VII ANEXOS .....</b>	<b>55</b>

### ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pagina</b>
Tabla 1: Concentración de Arsénico en agua de pozo – Centros poblados - Morrope	15
Tabla 2 Comparación de la biosorción de metales pesados por células inertes y células vivas	29
Tabla 3: Operacionalización de Variables	35
Tabla 4: Tamices utilizados en la separación partículas por tamaño	39
Tabla 5. Esquema de trabajo solución preparada en laboratorio	39
Tabla 6: Esquema de trabajo agua de pozo	42
Tabla 7: Fracciones en peso por malla en el tamizado	43
Tabla 8: Análisis Físico -químico de muestra de agua de pozo	46
Tabla 9: Resultados del tratamiento a nivel de laboratorio	47
Tabla 10: Resultados del tratamiento aplicado a agua de pozo subterráneo.	48

### ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pagina</b>
Figura 1 Diagrama Eh-pH de especies acuosas de arsénico en el sistema $\text{As-O} - \frac{2}{2}$ $\text{H}_2\text{O}$ a 25°C y 1 bar de presión total	25
Figura 2 Metabolismo del arsénico inorgánico. $\text{As}^{\text{V}}$ : arsenato, $\text{As}^{\text{III}}$ : arsenito, MMAV: ácido monometilarsénico, MMAIII: ácido monometilarsonioso, DMAV: ácido dimetilarsénico, DMAIII: ácido dimetilarsenioso, GSH: glutatión.	33

Figura 3: Ubicación de zona de muestreo	37
Figura 4: Proceso de Recolección y caracterización del biosorbente	38
Figura 5. Equipo experimental para el proceso de biosorción	40
Figura 6. a. Cascara de Frejol de palo fresca; b. cascara de frejol de palo seca; c. Cascara de frejol de palo molida. d. Cascara molida tamizada.	43
Figura 7: Espectro infrarrojo de la muestra de cascara de frejol de palo (LABICER-UNI).	44
Figura 8: Espectro infrarrojo de la muestra de cascara de frejol de palo (LABIN-UPAO)	45
Figura 9 Porcentaje de adsorción de arsénico a nivel laboratorio y en agua de pozo subterráneo, aplicando dosis de del biosorbente sin activación.	49

## INDICE DE ANEXOS

	<b>Pagina</b>
Anexo 01 A, que establece los parámetros aceptables para que un agua pueda ser considerada apta para el consumo humano.	55
Anexo 02 Method 200.7, Revision 4.4: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emisión Spectrometry	57
Anexo 03 Resultados de Análisis FTIR -LABICER-UNI	58
Anexo 04 Análisis estadístico	60
Anexo 05 Cuadros Excel	62
Anexo 06 Resultados del análisis con ICP-FIQIA	64
Anexo 07 Figuras de trabajo en laboratorio -FIQIA	67
Anexo 08 Acta de sustentación	71
Anexo 09 Constancia de verificación de originalidad	73

## RESUMEN

La contaminación del ambiente, es un problema real y preocupante, sobre todo los acuíferos que son utilizados por los seres humanos como fuente de agua potable, muchos de los contaminantes provienen de fuentes antropogénicas y algunos debido a la naturaleza geológica del suelo. Evaluar métodos que permitan de forma natural posible eliminar contaminantes como metales pesados o metaloides presentes en agua, haciendo uso de residuos industriales, nos permitirá reducir de cierta forma los residuos sólidos. El presente trabajo busca evaluar el siguiente problema ¿Cuál será el efecto que tendría el uso de biomasa vegetal en la reducción de la concentración de arsénico en agua subterránea utilizada como agua potable en el distrito de Morrope?; para ello se plantea como objetivo general: Evaluar el uso de biomasa vegetal, para la remoción de Arsénico en agua subterránea que es utilizada como agua potable en el distrito de Morrope y como objetivos específicos: Caracterizar el estado actual de la concentración de metales pesados en agua contaminada y Caracterizar fisicoquímicamente la biomasa vegetal a utilizar: residuos agroindustriales de cáscara de frejol gandul. Para la investigación se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), con tres tratamientos( A, B y C) y tres repeticiones para cada tratamiento, estas se aplicaron a nivel de laboratorio y en agua de pozo, para la comparación de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de TUKEY ( $P \leq 0,05$ ) con la cual se logra establecer que existe diferencia significativa en los tratamientos aplicados siendo en ambos casos tanto a nivel de laboratorio como en agua de pozo, el tratamiento C el que dio el mejor resultado en cuanto a biosorción a nivel de laboratorio un 29.799 % y en agua de pozo 18.74% de remoción de arsénico.

**Palabras claves:** Biomasa, Arsénico, Agua subterránea; Espectrofotometría; Adsorción.

## ABSTRACT

Environmental pollution is a real and worrisome problem, especially aquifers that are used by humans as a source of drinking water, many of the pollutants come from anthropogenic sources and some are present due to the geological nature of the soil. Studying methods that allow us to eliminate contaminants such as heavy metals or metalloids present in water in the most natural way possible, using industrial waste, will allow us to reduce solid waste to some extent. The present work seeks to evaluate the following problem: What will be the effect that the use of vegetable biomass would have on the reduction of the concentration of arsenic in groundwater used as drinking water in the Morrope district?; For this, the general objective is: Evaluate the use of plant biomass, for the removal of Arsenic in groundwater that is used as drinking water in the Morrope district and as specific objectives: Characterize the current state of the concentration of heavy metals in contaminated water and Physicochemically characterize the plant biomass to be used: agro-industrial residues of pigeon pea bean husks. For the investigation, a completely randomized design (DCA) was applied, with three treatments (A, B and C) and three repetitions for each treatment, these were applied at the laboratory level and in well water, for the comparison of means used the TUKEY multiple range test ( $P \leq 0.05$ ) with which it is possible to establish that there is a significant difference in the treatments applied, being in both cases both at the laboratory level and in well water, treatment C the one that gave the best result in terms of biosorption, at the laboratory level 29.799% and in well water 18.74% of arsenic removal.

Keyword: Biomass, Arsenic, Groundwater; Spectrophotometry; Adsorption



## **I. INTRODUCCION**

### **1.1 REALIDAD PROBLEMÀTICA**

El proceso de contaminación ambiental es delicado y complejo, y en los últimos años se ha intensificado, en especial la contaminación de un recurso natural no renovable muy importante, como es el agua, que es contaminada por microorganismos, químicos, desechos industriales, aguas negras, pesticidas, hidrocarburos y metales pesados de, entre otros, aguas residuales urbanas o fuentes industriales que hacen que el agua no sea apta para el uso humano directo o indirecto. La contaminación por metales pesados es muy peligrosa porque no se descomponen química ni biológicamente, por lo que pueden permanecer en el medio ambiente por mucho tiempo, su toxicidad está documentada desde la antigüedad, los griegos y romanos conocían la toxicidad del plomo desde hace mucho tiempo antes de que la toxicología fuera reconocida como ciencia.

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el agua es una parte importante del desarrollo sostenible, los recursos hídricos y los servicios que brindan juegan un papel clave en la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. La población mundial está aumentando en aproximadamente 80 millones de personas por año (USCB, 2012) y se espera que alcance los 9.100 millones en 2015; Esta explosión demográfica conducirá a un consumo aún mayor de recursos hídricos.

Más del 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, pero a pesar de su abundancia en los mares y océanos, el 97,5% del agua del planeta es salada, solo el 2,5% es dulce, y de esta última cantidad, dos tercios se encuentran en forma de hielo y glaciares, el 20% restante se ubica en zonas remotas y gran parte del agua llega en forma de inundaciones o monzones, por lo que no es apta para el

consumo. Menos de 0,08 L del agua del planeta reside en lagos y fuentes subterráneas aptas para el consumo directo, pero el crecimiento de la población está provocando un aumento del consumo del 40 por ciento, según cifras de la ONU. (Gonzales, 2014).

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2017); a nivel mundial, más del 80% de las aguas residuales probablemente terminan en el medio ambiente sin un tratamiento adecuado. Esta grave contaminación orgánica afecta ya a una séptima parte de todos los tramos fluviales de África, Asia y América Latina, este número ha ido aumentando constantemente durante años. (PNUMA, 2016). La contaminación del agua con diversas sustancias orgánicas e inorgánicas como resultado del desarrollo económico e industrial y del crecimiento de la población ha provocado el deterioro de la calidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas. La calidad del agua de los ríos en América Latina ha disminuido y la contaminación microbiológica y por salinidad ha aumentado a lo largo de los años, provocando una futura escasez de agua de alta calidad que puede limitar la producción, el suministro de alimentos y la salud. Según el informe del secretario general denominado “Progreso hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible en 2017”, la dotación de agua es insuficiente y para 2050 al menos el 25 por ciento de la población mundial vivirá en países afectados por ella, debido a la falta crónica y recurrente de agua dulce.

Perú cubre solo el 0,8 por ciento de la superficie continental del planeta, pero tiene casi 5 % de agua dulce superficial en el mundo, en algunos lugares los ríos y lagunas proveen agua superficial de forma estacional y sensibles a agentes de contaminación que muchas veces se originan en la cuenca por la minería u otras actividades productivas. Otro problema oculto es el manejo de las aguas servidas,

según OEFA no existe una gestión adecuada de estas, lo cual es necesario e indispensable para evitar la contaminación de los ecosistemas y evitar la propagación de focos infecciosos que afectan a las personas. Con el fin de mejorar la calidad del agua contaminada con metales nocivos y pesados principalmente acumulados en el suelo, las plantas y los animales, se buscaron métodos de tratamiento no contaminantes. Muchas fuentes de agua son preocupantes por la presencia de arsénico, cromo, plomo, mercurio, boro, etc., cuya distribución, movilidad, biodisponibilidad y toxicidad dependen más de la estructura química en la que se presenta que de su cantidad.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La presencia de metales pesados y metaloide en el agua de diversas fuentes es una realidad, el ambiente acuático es muy vulnerable, pues allí se depositan partículas sólidas naturales o artificiales, los efluentes de suelos contaminados y los vertidos directos infiltran los desechos generados por la población o la industria. La presencia de metales pesados en el agua provoca daños en los ecosistemas y en las personas.

Según (Reyes<sup>1</sup>, 2016) “El nivel de contaminación del agua se puede estimar en 2 mil millones de metros cúbicos por día. En los próximos años se presentará una crisis de este recurso, lo que podría poner en peligro la consecución de uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de Naciones Unidas (ONU-DAES, 2005-2015). En septiembre de 2015, la Asamblea general de la ONU, acordó como objetivo: “asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible de agua y saneamiento para todos”, otorgándole al agua un carácter prioritario para todos los países miembro.

Según el documento “Estrategia nacional para mejorar la calidad de los recursos

hídricos” del Ministerio de Agricultura y Riego y la Agencia Nacional del Agua (ANA), evalué los datos proporcionados por varios departamentos, como la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Instituto de Geología, Minería y Metalurgia (INGEMMET), Proyecto de Modernización de la Gestión de Recursos Hídricos (PMGRH) y Dirección de Gestión de Recursos Hídricos (DGCRH) y pudo procesar datos de calidad de recursos hídricos de 2000 a 2012; En la evaluación se tomaron en cuenta parámetros físicos, químicos, microbiológicos, contenido de arsénico, mercurio, cadmio, plomo, hierro y cobre, por ser estos indicadores ambientales de afectación a cuerpos de agua naturales. Los resultados de una evaluación de la calidad de los recursos hídricos realizada entre 2000 y 2012 muestran que "los parámetros de bacterias coliformes tolerantes al calor, arsénico, plomo y cadmio están relacionados con la descarga de aguas residuales de la población, las responsabilidades ambientales de las minas, la minería informal y las características naturales resultantes de la geología, han afectado la calidad del agua de regadío. (en las tres vertientes) y para fines poblacionales (vertientes del Pacífico y Amazonas)”.

Las cabeceras de cuenca que abastecen a las plantas potabilizadoras en Perú y fuentes subterráneas de agua potable, son afectadas por las actividades mineras formales que no dan un buen tratamiento a sus residuos y aún más por la minería informal, otro factor son las poblaciones que han ido en aumento y la falta de una buena gestión de las plantas prestadoras de servicio de agua potable, hace que los vertidos poblacionales se realicen directamente a los ríos, así también los efluentes de empresa metal mecánicas, de pinturas y pigmentos, y de otros rubros, sumado esto a los sedimentos que transporta el aire , a la diversa composición geológica

de los suelos , al abuso en el uso de agroquímicos y otros factores que incrementan la concentración de metales pesados en agua que servirá para el riego de plantas y para abastecer a la población de agua potable. Los metales pesados en agua potable son un riesgo potencial para la salud y al ingresar al organismo humano por diferentes vías, estos van sufrir un conjunto de reacciones bioquímicas que pueden modificar su forma química y ocasionar daños en órganos vitales o pueden simplemente acumularse y ocasionar modificaciones celulares y desarrollar enfermedades cancerígenas.

Según la Colección Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos, el Valle de Chancay Lambayeque cuenta con 837 pozos de agua para uso doméstico en 2016, 220 para uso agrícola, 252 para uso pecuario y 5 para uso industrial en el 2009.

Según el inventario de aguas de fuentes subterráneas en el valle Chancay-Lambayeque, publicado en el 2004 en el distrito de Mórrope perteneciente a la provincia de Lambayeque, el servicio de agua potable para la población tiene como fuente los pozos subterráneos, los que a la fecha se encuentran en observación debido que se ha detectado presencia de metales pesados que superan los valores ECA y por ello el estado con Decreto Supremo N° 047-2018-PCM, el ejecutivo ha declarado estado de emergencia en los centros poblados de Cruz del Médano, Arbosol, Carrizal, Casa Blanca, Fanupe Barrio Nuevo, Lagunas, Quemazón, Santa Isabel, Tranca Fanupe y Tranca Sasapé, por presencia de arsénico en agua.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál será el efecto que tendría el uso de biomasa vegetal en la reducción de la concentración de arsénico en agua subterránea utilizada como agua potable en el distrito de Morrope?

#### **1.4 OBJETO**

Agua contaminada.

#### **CAMPO DE ACCION:**

Agua contaminada por metales pesados.

#### **1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

El agua está en el centro del desarrollo sostenible. Los recursos hídricos y los servicios que brindan apoyan la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y el medio ambiente y la sostenibilidad. Desde la seguridad alimentaria y energética hasta la salud humana y el medio ambiente, el agua contribuye a mejorar el bienestar social y el crecimiento económico inclusivo, lo que afecta los medios de vida de miles de millones de personas.

Los métodos convencionales de tratamiento de agua para eliminación de metales pesados en agua como la electrodiálisis, ósmosis inversa y sistemas de membranas, así como los métodos de óxido reducción son de alto costo así que la búsqueda de formas no convencionales de tratar el agua de forma eficiente y de bajo costo de manera amigable con el entorno es amplia, una de esas formas es usar residuos de naturaleza orgánica que forman parte de residuos sólidos y de esta manera se estaría haciendo uso de un grupo de estos dándoles utilidad y por consiguiente se ayudara no solo a la búsqueda de una mezcla adecuada de residuos vegetales que disminuyan eficientemente la presencia de metales pesados en agua sino que se estaría dándose una alternativa de uso a un grupo de residuos sólidos y por consecuencia disminuyendo la presencia de estos en el ambiente.

En el cuadro número 1, se muestra una alta concentración de Arsénico en 10 muestras de agua subterránea en el Distrito de Morrope:

Tabla 1

Concentración de Arsénico en agua de pozo – Centros poblados -Morrope

Metal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
[As]	0.0424	0.0736	0.0728	0.0187	0.0139	0.0325	0.1034	0.0699	0.0159	0.0119
mg/L										

Fuente: Informe técnico A6830 de Área de Geología Ambiental y Riesgo

Geológico- INGEMMET -agosto 2018

## 1.6 OBJETIVOS:

### 1.6.1 GENERAL:

Evaluar el uso de biomasa vegetal, para la remoción de Arsénico en agua subterránea que es utilizada como agua potable en el distrito de Morrope.

### 1.6.2 ESPECÍFICOS:

- Caracterizar el estado actual de la concentración de metales pesados en agua contaminada.
- Caracterizar fisicoquímicamente la biomasa vegetal a utilizar.

## 1.7 HIPÓTESIS

“El tratamiento con biomasa vegetal disminuirá significativamente la concentración de Arsénico (As) presente en agua del distrito de Morrope, utilizada como agua potable.”

## II. DISEÑO TEORICO

### 2.1 ANTECEDENTES

Un metal pesado es un elemento químico de alta densidad (entre 4 g/cm<sup>3</sup> y 7 g/cm<sup>3</sup>) que es tóxico en bajas concentraciones. Algunos de estos elementos son: Aluminio (Al), Bario (Ba), Berilio (Be), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Estaño (Sn), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cadmio (Cd) , mercurio (Hg), plomo (Pb),

arsénico (As), cromo (Cr), selenio (Se), la forma en que ingresan a los cuerpos de agua, puede estar relacionada con su circulación natural debido al lavado del suelo, la lluvia que transporta materia suspendida al aire, siendo ahora la actividad humana la que se ha convertido en la principal fuente de contaminación del nivel freático.

Cuando miramos globalmente, vemos especialmente cómo la contaminación por arsénico en las fuentes de agua potable es un problema muy grave y puede convertirse en un problema de salud pública en nuestro país, como China, donde la intoxicación crónica por arsénico es un problema nuevo. con la salud pública y en muchos otros países asiáticos. Se estima que más de 200 millones de personas están en riesgo de exposición a altos niveles de arsénico en el agua potable, según (Guifan Sun, 2006).

El arsénico es considerado por el “Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC)”, en el grupo I de sustancias cancerígenas, en la India la fuente de suministro de agua es superficial pero también subterránea y al existir una sobre explotación de esta en muchas aldeas el agua consumida tiene altos niveles de Arsénico. La OMS recomienda un valor guía para el arsénico en sus Guías para la calidad, siendo este de 10 µg/l en agua potable.

**Según. (Hernán, 2007)** “Los metales pesados se distinguen por sus efectos tóxicos sobre los organismos acuáticos, que pueden ser de origen natural o humano. El cobre es un elemento esencial que necesitan todas las plantas y animales, incluidos los organismos acuáticos, porque forma parte de enzimas que juegan un papel importante en varios procesos fisiológicos, así como en algunas proteínas estructurales, pero en altas concentraciones se convierte en una sustancia peligrosa. Las fuentes antropogénicas de contaminación



ambiental por cobre incluyen la minería, la fundición y muchos productos a base de cobre utilizados en la construcción, la electrónica y otras industrias.”

Según (J. Fernando Larios - Meoño, 2015), “la alta concentración de arsénico principalmente encontrado en diversos lugares del Perú es preocupante ya que rebasa los límites establecidos por la OMS en 86% de las muestras recolectadas y según (John Astete, 2014), La absorción de arsénico es principalmente a través de la digestión y la piel, y el agua subterránea es una de las principales fuentes de exposición”.

**Norma Cuiziano, (2008)** Textualmente manifiesta que “Las algas marinas constituyen un biosorbente prometedor para la eliminación de metales pesados y, debido a sus características intrínsecas, han recibido una atención que se ha incrementado en las últimas décadas. Lamentablemente la biosorción, a pesar de su desarrollo durante los últimos años, está reducida a procesos discontinuos básicamente a nivel de laboratorio. El mecanismo de biosorción está siendo elucidado, pero no se conoce con exactitud el tipo de interacción ion metálico-adsorbente ni sus factores. Asimismo, las condiciones óptimas alcanzadas no se ajustan completamente a las condiciones de las aguas residuales convencionales (fuerza iónica, iones interferentes, detergentes, acidez, contenido orgánico, etc.”

**Izquierdo Sánchez (2011)** en su tesis doctoral “Eliminación de los metales pesados en aguas mediante bioadsorción. evaluación de materiales y modelación del proceso, investiga el proceso de bioadsorción para la eliminación de metales pesados cobre (Cu) y níquel (Ni) de aguas residuales utilizando posidonia oceánica o residuos de turba como bioadsorbentes, aplicando una metodología encaminada a desarrollar una herramienta predictiva del proceso de bioadsorción en lecho fijo y evaluando la aplicación potencial

del proceso a escala industrial”.

**Vizcaino y Fuentes (2015)** En su investigación “Biosorción de cd, pb y zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. El objetivo fue establecer un sistema para evaluar la capacidad remoción que podrían presentar las algas rojas, la piel de naranja (*Citrus* sp.) y tuna guajira (*Opuntia* sp.) investigando los efectos del pretratamiento y empacado en experimentos grupales utilizando soluciones de sodio y calcio. , alcanzando mayor capacidad de adsorción los modificados con NaOH 0,1 N para algas y pulpa de naranja y tuna modificados sucesivamente con NaOH y  $\text{CaCl}_2$  al 0.2 M, el estado del proceso de adsorción no fue significativo ( $\leq 1\%$ ). empacutando la biomasa en redes planas de poliéster, concluyendo que para determinar la eficiencia de remoción se utilizó un reactor de flujo de columna fija con un volumen de líquido de 400 mL, 75 g de biomasa y tiempo de retención promedio de 1 y 2 h. Los resultados mostraron una eficiencia similar de las tres biomásas en la eliminación de Cd y Pb con un promedio de más del 95 %, mientras que el Zn se eliminó con mayor eficiencia (62 %) cuando se usó tuna modificada como adsorbente”. (Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina, 2015)

**Josefina Plaza (2012)** en su investigación “Remoción de metales pesados empleando algas marinas. Se plateo como objetivo: evaluar la posibilidad de utilizar las macroalgas marinas *Macrocystis pyrifera* y *Undaria pinnatifida* de la Patagonia, Argentina, para eliminar mercurio, zinc, cadmio, cromo y níquel de soluciones acuosas mediante tratamiento alternativo de biosorción. El tratamiento de biomasa con  $\text{CaCl}_2$  0,2 M. resulto ser efectivo porque estabiliza el material bioabsorbente, evitando la lixiviación del alginato, reduciendo también el efecto de hinchamiento y dándole rigidez. Concluyó que las

propiedades físicas y químicas del biosorbente afectan su capacidad de adsorción y que es necesario un pretratamiento adecuado para estabilizar la biomasa, los tiempos necesarios para lograr el equilibrio de adsorción fueron en el caso del  $\text{Ni}^{2+}$  1 hora,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Cd}^{2+}$  2 horas;  $\text{Cr}^{3+}$  6 horas y finalmente  $\text{Hg}^{2+}$  24 horas. Además, muestra que el pH afecta el secuestro de metales y el grado de protonación de los sitios activos de las paredes celulares de las algas, lo que afecta el proceso de biosorción.”.

**Dionisio Ruiz (2012)** en su investigación “Aprovechamiento de residuos vegetales para la eliminación de cobre presente en medios acuosos mediante biosorción. Su objetivo fue desarrollar métodos de tratamiento alternativos a los procesos tradicionales para remover metales pesados provenientes de diversas actividades humanas, principalmente la industria y la agricultura, utilizando residuos vegetales como material biosorbente, Usando almendra, corteza de pino, cáscara de piña, cascara de piñón y hueso de aceituna, determino los parámetros que afectan la biosorción, como el tamaño de partícula, el pH, la concentración inicial de biosorbente, el tiempo de exposición, etc. Los resultados obtenidos muestran que aumenta el porcentaje de cobre removido si aumenta el pH del sustrato para todos los biosorbentes utilizados hasta un valor de 5, lo cual es especialmente importante para la cascara de piñón y piña. Además, al comparar la tasa de retención de los cinco biosorbentes, se encontró que la cáscara de piña y la corteza de pino tienen la mayor capacidad de retención de cobre en las condiciones experimentales utilizadas.

En cuanto a la concentración de biosorbente, el porcentaje de cobre eliminado aumenta para todos los sólidos cuando aumenta dicha concentración, alcanzando un valor prácticamente constante a concentraciones superiores a 5

g/l para cascara de piña y cascara de almendra y a concentraciones superiores a 10 g/l. para hueso de aceituna y cascara de piñón. La proporción de cobre removido de la corteza de pino aumenta ligeramente en toda el área de estudio a medida que aumenta la concentración del biosorbente. Además, concluye que, desde la perspectiva del uso industrial, la separación por tamaños no es una ventaja significativa para el proceso de biosorción y representa un costo adicional para el uso de estos residuos como biosorbentes. En un estudio cinético del proceso, revela que la biosorción ocurre rápidamente con todos los sólidos, con más del 80% de la retención máxima lograda antes de un tiempo de contacto de aproximadamente 20 minutos.

También muestra que el modelo de Langmuir es el que mejor reproduce los equilibrios discontinuos de biosorción de cobre para los cinco sólidos analizados. Además, el modelo de Redlich-Peterson coincide con el modelo de Langmuir para casi todos los sólidos, por lo que si se tienen en cuenta los límites que presenta este modelo, se puede concluir que los resultados experimentales son una buena representación de la isoterma de Langmuir. La biosorción continua de mezclas binarias de Cu-Pb utilizando las mismas condiciones experimentales utilizadas para

soluciones de Cu de un solo metal muestra la misma tendencia en los resultados, lo que nuevamente confirma lo que se logró en el diseño experimental y la investigación. La biosorción de un solo metal también muestra la mayor afinidad de todos los biosorbentes por el plomo”. (Dionisio Ruiz, 2012)

Trujillo Miranda (2015) en su investigación “Eliminación de cromo (VI) de medios acuosos mediante biosorción con hueso de aceituna: escalado del proceso y aplicación a la depuración de aguas reales. Se plateo como objetivo

el estudio de la eliminación de Cr (VI) mediante biosorción utilizando hueso de aceituna, mediante pruebas con soluciones preparadas en laboratorio que contenían cromo (III) para luego ser transformado a Cromo (VI) con columnas de lecho fijo, obtuvo como resultado que a valores de pH por debajo de 3, hay una combinación de biosorción y reducción de cromo (VI), en el caso de la columna, se observó que la saturación ocurre más rápido a velocidades de flujo altas y tamaño de empaque pequeño. Se concluyó que la eficiencia del método en la eliminación de metales pesados, junto con su bajo costo y biosorción con poco impacto ambiental, se presenta como una alternativa al tratamiento convencional de aguas contaminadas.” (Trujillo Miranda, 2015)

**Cardona Gutiérrez, Cabañas Vargas, & Zepeda Pedreguera (2013)**, en su artículo titulado “Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). Investigo la biosorción de Pb (II) y Zn (II) por biomasa de cáscara de naranjas secas, trituradas, con y sin tratamiento de reticulación (con  $\text{CaCl}_2$ ). En cuanto a la remoción de Pb (II) y Zn (II) fue de 99.5% cuando se trabajó a un pH de 4.99 y un tamaño de partícula de 0,48 mm y un tiempo de contacto de 4 h. El tratamiento de reticulación de la cascara de naranja fue el más adecuado para la biosorción de Pb (II)”. (Cardona Gutiérrez, Cabañas Vargas, & Zepeda Pedreguera, 2013),

**Anna Iliná, 2009**, en su publicación titulada “Biosorción de arsénico en materiales derivados de maracuyá. Nos resaltan que el arsénico está catalogado como un elemento químico tóxico y cancerígeno, por lo que es un problema ambiental importante en varias partes del país y del mundo. En este trabajo se demostró que los materiales obtenidos de la cáscara y fibras de la cáscara de maracuyá pueden ser considerados como biosorbentes de iones arsenito y

arseniato. Los residuos de maracuyá permiten la eliminación efectiva de arsénico de aguas de la región Lagunera de Coahuila, México, y aguas artificiales que contienen As (III) o As (V) sin tratamiento adicional. Además, los materiales enriquecidos con Fe (III) mostraron una mayor capacidad de biosorción de arsénico que las matrices sin modificar químicamente.

El pH óptimo para el proceso de biosorción de As (III) y As (V) resultó ser 5, y los coeficientes de retención aumentaron cuando la temperatura aumentó de 20 °C a 25

°C, pero cuando la temperatura aumentó a 45 °C., la capacidad de retención disminuyó. Los resultados muestran que la presencia de iones adicionales en las muestras de agua natural no afecta el proceso de remoción de arsénico, que es superior al 99% cuando la concentración de arsénico es inferior a 5 ppm.”

**Erik E. Santos-Domínguez, 2017**, en su publicación “Remoción de Arsénico (V) en Solución Acuosa por Biomasa Modificada del Hongo *Aspergillus Níger*, establece que la bioadsorción de As alcanzo el 69% c a las 24 horas, a un pH de 6.0 y una temperatura de 28°C y 1 g de biomasa modificada. Cuanto mayor es la concentración de arsénico, menor es la remoción, ya medida que aumenta la concentración de biosorbente, la remoción es del 96% con 5 g de biomasa. Al final de este trabajo, el

metal se elimina efectivamente en el sitio (56% en agua contaminada con metaloides). Estos resultados indican la utilidad potencial de esta biomasa para la remediación de áreas de agua contaminadas con As (V)”.

**Albarracin Herrera, 2014**, en su tesis titulada “Capacidad de Adsorción para remover el ion Pb (II) por el tanino de la cascara de Tarwi (*lupinus mutabilis* sweet), de las aguas del rio Ramis Puno, Perú, muestra que el pH se ha

establecido como uno de los parámetros más importantes que rigen la eliminación de metales en medios acuosos utilizando biosorbentes sólidos. En el caso de la cáscara de Tarwi, el tiempo de exposición alcanzó el 60% en los primeros 20 minutos, lo que aumenta gradualmente la capacidad máxima de biosorción durante 60 minutos. Esta tesis muestra que, en términos de tiempo, los resultados son similares a los de otros investigadores, como Pelaban, E. y Altun (2007), quienes encontraron que el tiempo de equilibrio para la biosorción de plomo a partir de cáscara de avellana y almendra es de 20 y 60 minutos. ;(Ho 2002). Esto indica que el tiempo de equilibrio de biosorción de plomo por residuos de helecho es menor a 60 minutos (Ofomaja et al., 2006). Se concluye que de acuerdo a los resultados obtenidos por el método de biosorción, la capacidad máxima de remoción de la cascara de Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) a pH 5.5 en 60 minutos es de 96.021%. Los análisis complexométricos son muy importantes en los análisis cuantitativos de sales inorgánicas porque son métodos simples y no requieren equipos sofisticados. En cuanto a la cinética, se concluyó que el modelo de Langmuir y el modelo de Freundlich son adecuados para describir positivamente las isothermas de biosorción del sistema (0.97 y 0.98 respectivamente)".

## **2.2 BASE TEÓRICA**

**2.2.1 Metal pesado :** Es un elemento químico con alta densidad (entre 4 g/cm<sup>3</sup> a 7 g/cm<sup>3</sup>), y resultan tóxicos aun en cantidades reducidas, algunos de estos elementos son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), selenio (Se) entre otros; la forma en que estos llegan a las fuentes agua pueden relacionarse de forma natural con

el ciclo natural de esta por las escorrentías que lavan los suelos, las precipitaciones que arrastran material suspendido en el aire, y principalmente las actividades antropogénicas.

El termino metal pesado se aplica, normalmente, a sustancias cuya masa atómica es generalmente mayor que el del hierro (55,8 g/mol) o poseen una densidad por encima de 5,0 g/cm<sup>3</sup>. No obstante, existen autores que establecen como densidad atómica para los metales pesados 40 6 g/cm<sup>3</sup>. Algunos autores (Duffus, 2002; Hodson, 2004; Madrid, 2010) consideran que la definición de metal pesado es un tanto arbitraria y no recomiendan su uso.

Considerando la toxicidad de los elementos químicos presentes en agua, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), considera metales pesados a; arsénico (As), cromo (Cr), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc Zn), plata (Ag), cadmio Cd), mercurio (Hg), titanio (Ti), Selenio (Se) y plomo (Pb).

La creciente polución del agua con metales pesados como As, Hg, Cd y Pb, está relacionado directamente a las actividades antropogénicas, podríamos considerar como fuentes de contaminación de metales pesados, a los pesticidas, fungicidas, fundición de metales, galvanoplastia, industria de pinturas, industria del papel, la incineración de combustibles fósiles y la minería entre otras.

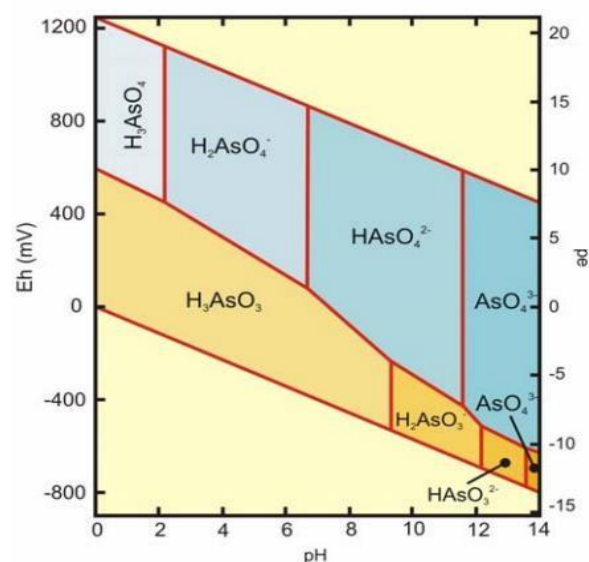
Normalmente el arsénico se encuentra en el agua como oxianiones, con dos estados de oxidación +3 y +5 y muy raramente con estado de oxidación 0, -1 o -2. Lo encontramos formando H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub> y H<sub>3</sub>AsO<sub>3</sub>. El arsénico con su estado de oxidación +3 resulta ser más lábil y biotóxico. La dinámica que se da en la composición de los acuíferos establece la relación de adsorción/desorción de



metales presentes hacia y desde el acuífero. La adsorción y la desorción son procesos inversos, uno de los cuales logra reducir o sacar el metal del agua, y el otro devuelve los metales al agua, favoreciendo su movilización. El grado de oxidación del arsénico y su movilidad depende en gran medida del potencial redox y del valor de pH del agua, es muy sensible en su movilización a valores de pH de 6,5-8,5. A pH bajos es decir en condiciones de acidez, la presencia del estado de oxidación +5 es dominante sobre el estado +3, por lo tanto, la especie que se encontraría sería  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ; a pH alto la especie dominante es  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ; en medios muy acidos se encontrara ácido arsénico y en condiciones muy básicas ion arseniato. (Brookins, 1986)

### Figura 1

Diagrama Eh-pH de especies acuosas de arsénico en el sistema As-O-H O a 25°C y 1 bar de presión total.



Fuente : (Zhu & Lu, 2011 Vol.62)

La legislación peruana establece normas de calidad del agua dependiendo de su uso el decreto N°004-2017-MINAM modifica estándares nacionales de calidad ambiental del agua y confirmar regulaciones adicionales para su aplicación, los estándares

para el caso de metales pesados se muestran en el anexo N° 01, que establece los parámetros aceptables para considerar un agua apta para el consumo humano, sin embargo en el distrito de Mórrope los ensayos realizados por la municipalidad de Mórrope en coordinación con el Laboratorio Regional de Agua del Gobierno Regional de Cajamarca INACAL-DA, laboratorio acreditado, con Registro N° LE-084, realizo los ensayos que figuran en el Informe de ensayo N° IE 0418223 de fecha 23 de abril del 2018, realizado a muestras de agua de 11 caseríos de distrito de Mórrope, muestra que existe una concentración Pb que excede al ECA permitido en las 11 muestras analizadas. Posteriormente en el Informe N°0818461 de fecha 17 de agosto del 2018, realizado a muestras de agua de 13 caseríos del distrito de Mórrope, nos muestra como resultado que 11 muestras analizadas presentan concentraciones de As que excede el ECA. En el informe N°0818465 del 18 de agosto del 2018, realizado a 2 muestras de agua procedentes de pozo La piedra-Mórrope y Pozo del caserío Pañala, muestran que en el segundo pozo la concentración de As supera el ECA permitido y la concentración de Pb es el valor ECA permitido.

INGEMMET, en informe técnico A-6830, realizo un estudio hidrogeológico del distrito de Mórrope en agosto del 2018, en el cual se realiza un inventario que arroja 21 fuentes de agua, entre pozos tubulares y a tajo abierto. De los cuales selecciono 14 para para muestreo encontrando en 10 de ellas que la concentración de As supera el ECA permitido por ley.

Así como el Arsénico está presente en aguas subterráneas, también encontramos plomo, mercurio, cromo, hierro, berilio, Aluminio presentes en agua y su forma química es realmente más dañina que su cantidad.

Suelo y cultivos que en este crecen se ven afectados por la composición misma de estos y por qué las aguas de riego utilizadas provienen de fuentes que han sido

contaminadas por diferentes vertidos lo cual incrementa la concentración de elementos metálicos pesados que pueden volver un terreno fértil con el tiempo en un terreno improductivo, así mismo los cultivos que se puedan producir en estos, bioacumulen en sus tallos, hojas o frutos estos metales pesados que disueltos y luego estos cultivos sirvan de alimento tanto a animales como a seres humanos, causando diferentes tipos de enfermedades.

Por consecuencia la ingesta de aguas contaminadas con metales pesados o cultivos que los han bioacumulados y que son de consumo directo, nos lleva con el tiempo aun problema de salud en poblaciones vulnerables como son los niños y ancianos y madres gestantes en los cuales la forma química en la que se presentes esto metales puede ocasionar daños leves, graves o la muerte, esto ya es un problema de salud pública que necesita ser atendido, como los factores que desencadenan las enfermedades son múltiples no se puede atribuir exclusivamente los daños a los metales pesados sin embargo si son un factor de riesgo alto a considerar.

Una alternativa de solución que no demande un alto costo y que a la vez contribuya con la mitigación del problema de residuos sólidos, es seleccionar de este grupo un conjunto de residuos vegetales que son biodegradables y que a la vez ayuden a remover metales pesados en agua con un proceso simple y de fácil aplicación.

## **2.3 Tratamiento alternativo a las tecnologías convencionales**

### **2.3.1. Biosorción.**

Es la adsorción sobre una sustancia inerte de origen biológico y surge como un método alternativo en el que la transferencia de uno o más solutos desde la fase líquida es captada por un grupo de partículas sólidas del material biológico, dando lugar a su desarrollo. de diversos mecanismos físico-

químicos influenciados por factores en función de la naturaleza de los sustratos y la eliminación de los lodos residuales generados en el proceso de remoción. Este método no solo permite la eliminación del metal contaminante, lo que reduce el impacto ambiental en el medio en el que se libera, sino que también permite su reciclaje para su integración en un nuevo ciclo productivo. (Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina, 2015).

Según (I. A. Rodríguez, J. F. Cárdenas, and G. V. M. Martínez, 2012) “El término "biosorción" se utiliza para referirse a la asimilación de metales a través de la biomasa (viva o muerta) mediante mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Cuando se utiliza biomasa viva, los mecanismos de consumo metabólico también pueden contribuir al proceso. El proceso involucra una fase sólida (el sorbente) y una fase líquida (el solvente, que generalmente es agua) que contienen los solutos a ser absorbidos.”

La biosorción es un método prometedor en la remoción de metales pesados presentes en agua contaminadas, ya que es rápido y es útil cuando la presencia de iones metálicos esta disminuida en volúmenes grandes de agua.

La biosorción es un proceso diferente a la bioacumulación la primera se realiza generalmente en la superficie de la célula mientras que la segunda involucra otros procesos y se desarrolla en el interior de la célula, lo cual implica un problema cuando se trabaja con células vivas, una ventaja que presentan los materiales de origen biológico cuyas células están muertas.

Tabla 2

Comparación de la biosorción de metales pesados por células inertes y células vivas:

Adsorción por biomasa inerte inmovilizada	Incorporación por células vivas inmovilizadas
<b>Ventajas</b>	
<p>1. Independiente del crecimiento, biomasa muerta, no sujeto a las limitaciones de toxicidad. No necesita de nutrientes en la solución de alimentación, de disposición de nutrientes, ni productos metabólicos.</p> <p>2. Los procesos no están gobernados por limitaciones biológicas.</p> <p>3. La selección de la técnica de inmovilización no está gobernada por limitaciones de toxicidad o inactivación térmica.</p> <p>4. Son muy rápidos y eficientes en la remoción de metales; la biomasa se comporta como un intercambiador de iones.</p> <p>5. Los metales pueden ser liberados fácilmente y recuperados.</p>	<p>1. Aunque cada célula puede llegar a saturarse, el sistema se auto restablece debido al crecimiento.</p> <p>2. Los metales se depositan en un estado químico alterado menos sensible a la desorción espontánea.</p> <p>3. La actividad metabólica puede ser la única forma económica de lograr cambios en estado de valencia o degradar compuestos organometálicos; se pueden utilizar sistemas multienzimáticos.</p> <p>4. Se pueden mejorar las cepas por medio del aislamiento de mutantes o la manipulación genética, debido a que ésta es una propiedad microbiana más que un producto bajo explotación.</p> <p>5. Se pueden emplear dos o más organismos de una manera sinérgica.</p>
<b>Desventajas</b>	
<p>1. Rápida saturación: cuando los sitios de interacción con el metal están ocupados, es necesario remover el metal antes de utilizarse nuevamente, sin importar su valor.</p> <p>2. El secuestro por adsorción es sensible al pH.</p> <p>3. El estado de valencia del metal no puede ser alterado biológicamente, <i>e.g.</i> para dar formas menos solubles.</p> <p>5. El mejoramiento de estos procesos biológicos es limitado ya que las células no efectúan un metabolismo; la producción de agentes adsorbentes ocurre durante la etapa de procrecimiento</p>	<p>1. La toxicidad; sólo se pueden tratar los metales a bajas concentraciones, sin embargo, se han utilizado cepas resistentes a los metales.</p> <p>2. Es necesario alimentar los flujos bajo condiciones fisiológicamente permisibles.</p> <p>3. Se necesitan nutrientes para el crecimiento.</p> <p>4. La disposición de los productos metabólicos y los nutrientes</p> <p>5. Las especies organometálicas no son susceptibles de degradación del crecimiento no consumidos.</p> <p>6. Los productos metabólicos pueden formar complejos con los metales, impidiendo la precipitación.</p> <p>7. La recuperación de los metales por desorción es limitada, debido a que pueden formar uniones intracelulares.</p> <p>8. El modelamiento de un sistema no definido representa grandes dificultades matemáticas.</p>

Fuente: (Canizares Villanueva, 2000)

El proceso de biosorción puede verse afectado por el pH, el cual determina la presencia de iones metálicos y afecta la estructura de la biomasa, otro factor es el tiempo de contacto, las concentraciones iniciales de iones metálicos, la fuerza iónica y la presencia de otros iones. El efecto de la temperatura sobre la biosorción depende del cambio de entalpía asociado con el proceso de adsorción. En caso de adsorción física,  $\Delta H < 0$ , por lo que la reacción de adsorción es exotérmica y ocurre principalmente a bajas temperaturas. Se puede entonces establecer que en el rango de 20-35 ° C, la biosorción será eficiente y que al aumentar la temperatura esta puede afectar los sitios activos de los medios de biosorción que usen células vivas. (Salman Abbas, 2014). Los procesos por los cuales el biosorbente captura el ion metálico pueden variar, incluyendo la quelación, la adsorción física, el intercambio iónico y la precipitación.

### **2.3.2. Mecanismo de Biosorción.**

El fenómeno de la biosorción implica la interacción de una fase sólida (sorbente) y una fase líquida (disolvente, que suele ser agua) que contienen sustancias químicas disueltas que se absorben (sorbato: iones metálicos). Dependiendo de la afinidad del medio adsorbente por las sustancias disueltas en el sorbato, estas son atraídas a la superficie del sólido y permanecen allí por diversos mecanismos que explican la retención del ion metálico.

Este proceso continúa hasta que se alcanza un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato unido al sólido (concentración final o de equilibrio). La afinidad del sorbente por el sorbato determina su reparto entre las fases sólida y líquida.

La capacidad de adsorción de un material adsorbente está determinada por la cantidad de sorbato que puede atraer y retener en una forma "inmovilizada". La cantidad de metal adsorbido por el adsorbente se puede calcular como la capacidad de adsorción.

Las capacidades de adsorción dependen de las constantes ácido-base, el punto isoelectrónico del adsorbente y el pH de la solución.

## **2.4 Material residual vegetal como Biosorbente**

Hoy en día se conocen un gran número de residuos que pueden ser utilizados como biosorbentes y resultan muy útiles para reducir la concentración de metales pesados en solución, algunos de los cuales son útiles en aplicaciones específicas. En este sentido, luego de que se hayan realizado experimentos para determinar el potencial de un biosorbente para cualquier ion metálico, se debe reconsiderar su uso de forma industrial.

El nivel de contaminación del agua es alto y por ello el uso de biosorbentes se presenta como un medio alternativo. El proceso es ventajoso porque utiliza residuos vegetales que pueden ser utilizados como biosorbentes, tales como cáscaras de frutas, cáscaras de vegetales, tallos, algas, semillas u otros residuos agroindustriales, preferiblemente innecesarios. cambios o tratamientos que aumentan su precio. Esos residuos vegetales son una matriz de soporte sólido donde hay un proceso de interacción con el metal que lo retiene y hace que su concentración disminuya en la solución, debido a que el metal estaría ubicado en los sitios activos contenidos en la matriz. varios mecanismos como: absorción, adsorción física, adsorción por intercambio iónico, complejación, microprecipitación o quelación.

## **2.5 Arsénico toxicidad. –**

Elemento químico, símbolo “As”, pertenece al Grupo 15 de la tabla periódica. Forma parte de los metaloides, su número atómico es 33, su masa atómica 74,92 y su densidad 5,72 gr/cm<sup>3</sup>. De forma libre se encuentra combinado con minerales que poseen cobre, plomo, hierro, níquel, cobalto y otros metales.

Encontramos el arsénico en forma orgánica o inorgánica. Se presenta en diversos

compuestos relacionados con el oxígeno, el cloro y el azufre; obtenido del llamado arsénico inorgánico; junto con el carbono y el hidrógeno forma arsénico orgánico. Ciertos microorganismos, plantas y animales pueden convertir el arsénico inorgánico en orgánico.

Los estados de oxidación del As son:  $-3$ ,  $0$ ,  $+3$  y  $+5$ . El nivel de toxicidad también se mide por oxidación, la estructura química y su solubilidad disminuyen de la siguiente manera: arsina  $>$   $\text{As}^{+3}$  inorgánico  $>$   $\text{As}^{+3}$  orgánico  $>$   $\text{As}^{+5}$  inorgánico  $>$   $\text{As}^{+5}$  orgánico  $>$  Compuestos de arsénico y arsénico elemental, La toxicidad del  $\text{As}^{+3}$  es 10 veces mayor que la del  $\text{As}^{+5}$  y la dosis letal para adultos es de 1- 4 mg As/kg. Se encontraron diferentes concentraciones de arsénico tanto en aguas subterráneas como superficiales. En las aguas subterráneas, se asocia con otras especies químicas como el flúor (F), el vanadio (V), el selenio (Se).

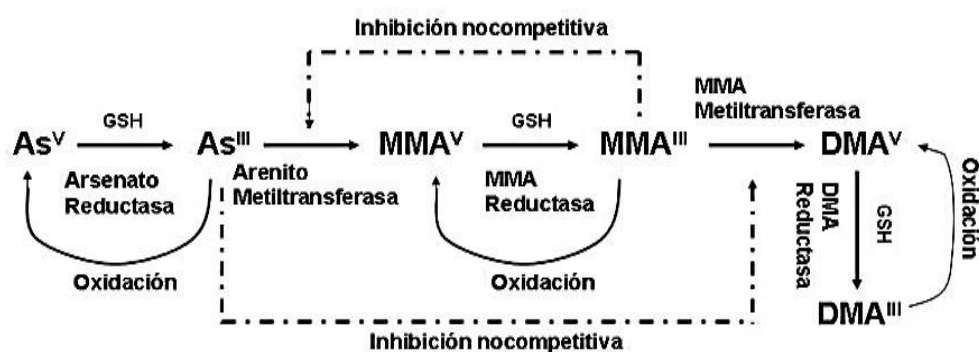
Se considera arsénico orgánico al que ha sido asimilado por un organismo vivo y metabolizado al inicio la cadena alimenticia, de tal forma que lo podemos encontrar en las diferentes partes de plantas y animales que han tenido contacto directo con aguas contaminadas con As; y que hubieran podido bioacumularlo. Una vez que el As, ingreso a un organismo vivo, este puede ser metilado a nivel celular como un mecanismo de defensa celular, de esta manera se generan las especies: ácido monometilarsénico (MMA), dimetilarsénico (DMA) y trimetilarsénico (TMA). Este mecanismo de inserción de radical metil seda en un ambiente donde se suceden reacciones de oxido-reducción donde el As transita de su forma pentavalente a su forma trivalente.

la metilación del arsénico se observa en la figura 2, es viable enzimáticamente por metiltransferasas en presencia de S-adenosilmetiotina (SAM) como grupo donador (Clewel, 388-98)



Figura 2

Metabolismo del arsénico inorgánico. As<sup>V</sup>: arsenato, As<sup>III</sup>: arsenito, MMA<sup>V</sup>: ácido monometilarsénico, MMA<sup>III</sup>: ácido monometilarsonioso, DMA<sup>V</sup>: ácido dimetilarsénico, DMA<sup>III</sup>: ácido dimetilarsenioso, GSH: glutatión.



Fuente: (Clewel, 388-98).

La forma de metabolismo y eliminación del As inorgánico depende de cada especie. Los principales metabolitos excretados en la orina de humanos expuestos a As inorgánicos son MMA y DMA, junto con algunos As no metilados, todos en estado pentavalente.

El arsénico es uno de los inhibidores del ciclo de Krebs más conocidos, debido a que su forma trivalente interactúa con los grupos sulfhidrilo (-SH), la forma pentavalente reemplaza a los fosfatos en las enzimas mitocondriales. El arsénico evita la acción de otras enzimas, por lo cual se bloquea el ciclo de Krebs y como consecuencia de esto se interrumpe la fosforilación oxidativa, bloqueándose así la respiración celular y la generación de energía lo que desencadena un fallo multiorgánico. La ingesta de grandes dosis lleva a problemas cardiovasculares, gastrointestinales, mal funcionamiento del sistema nervioso y finalmente la muerte. (Feduchi-Blasco-Romero-Yañez, 2010)

## **2.6 Frijol de Palo. -**

*Cajanus cajan* (L.) Millsp. Conocido como Lenteja de palo (Lambayeque); Pushpo (Selva); Chivatito (Costa central). Quinchoncho (Venezuela); Gandul (Rep. Dominicana, Puerto Rico); Red gram (India); Angola pea, Dhall, Pigeon pea (inglés).

Crece en suelos con textura arenosa a arcillosa, pobres con bajo contenido de fósforo, pH entre 4.5-8.4; algunas variedades resisten bien la salinidad. Las semillas son usadas como alimento por su alto contenido en lisina y metionina.

Esta leguminosa es sembrada en la zona de costa norte del Perú, desde Chepén en La Libertad hasta Piura, su producción es estacional entre los meses de enero a julio en vaina verde, es recolectada y procesada desde mayo y en grano seco, desde agosto. En vainas verdes, se comercializa para la industria de alimentos enlatados y congelados. Su consumo se concentra en los departamentos de Lambayeque y Piura, se desconoce su cultivo y consumo fuera de la región, pero en selva es un producto alimenticio valioso. Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego en Julio del 2020, en Lambayeque se comercializaron más de 40 toneladas de frijol de palo de las cuales aproximadamente el 50% es cascara, es decir 20 toneladas. La vaina es un material complejo que contiene lignina y celulosa como componentes principales, y se sugiere que estos componentes, especialmente la lignina, tienen grupos funcionales polares como alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, fenol y éteres que pueden participar en la retención de las especies químicas en su superficie.

## 2.7 Operacionalización o categorización de variables

**Tabla 3**

### **Operacionalización de Variables**

Variables	Definición conceptual	Indicador	Escala de medición
Concentración de metales pesados en agua subterránea	Cambio químico, en la calidad del agua por la presencia de metales pesados que tienen un efecto dañino en cualquier cosa viva que consuma esa agua.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Concentración</li><li>▪ Bioacumulación</li></ul>	mg/kg mg/kg
Capacidad de adsorción de Biomasa vegetal	Material solido de naturaleza orgánica cuya composición puede variar dependiendo del cultivo del que provenga sobre todo en su contenido de nitrógeno y de celulosa y hemicelulosa	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ pH</li><li>▪ Composición</li><li>▪ Diámetro partícula</li></ul>	Escala de Soren sen  %  cm

### III. DISEÑO METODOLOGICO

Este estudio utilizó un diseño completamente al azar (DCA) replicado tres por tres de residuos agroindustriales de cáscara de guandú para comparar las medias por la prueba de rango múltiple de TUKEY ( $P \leq 0.05$ ) y el modelo estadístico utilizado es:

Modelo matemático.  $Y_{(ij)} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$

$Y$  = es la variable de respuesta de interés.

El modelo estadístico del diseño experimental empleado es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$\mu$  = promedio general de la población sobre la cual se está trabajando

$\tau$  = es la variación que se atribuye a los niveles del factor que se está evaluando (efecto de los tratamientos).

$\epsilon$  = es la variación de los factores no controlados (el error experimental)

$i$  =  $i$  -ésimo tratamiento

$j$  =  $j$  -ésima repetición de cada tratamiento

$j(i)$  = es la variación de las unidades experimentales anidado en los tratamientos

#### 3.1 Ubicación y Ambiente de desarrollo experimental

El espacio donde se desarrolló este trabajo de investigación, es el laboratorio de química orgánica, laboratorio de química analítica de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de la ciudad de Lambayeque. También se requirió los servicios de laboratorio LABICER, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería-Lima, Laboratorio de materiales- C101 de la Universidad Tecnología del Perú-Campus Chiclayo y Laboratorio LABINM DE LA Universidad Particular Antenor Orrego-Trujillo.

### 3.2 Población y Muestra

**Población:** Pozos de aguas Subterráneas utilizadas como agua potable en los caseríos del Distrito de Mórrope.

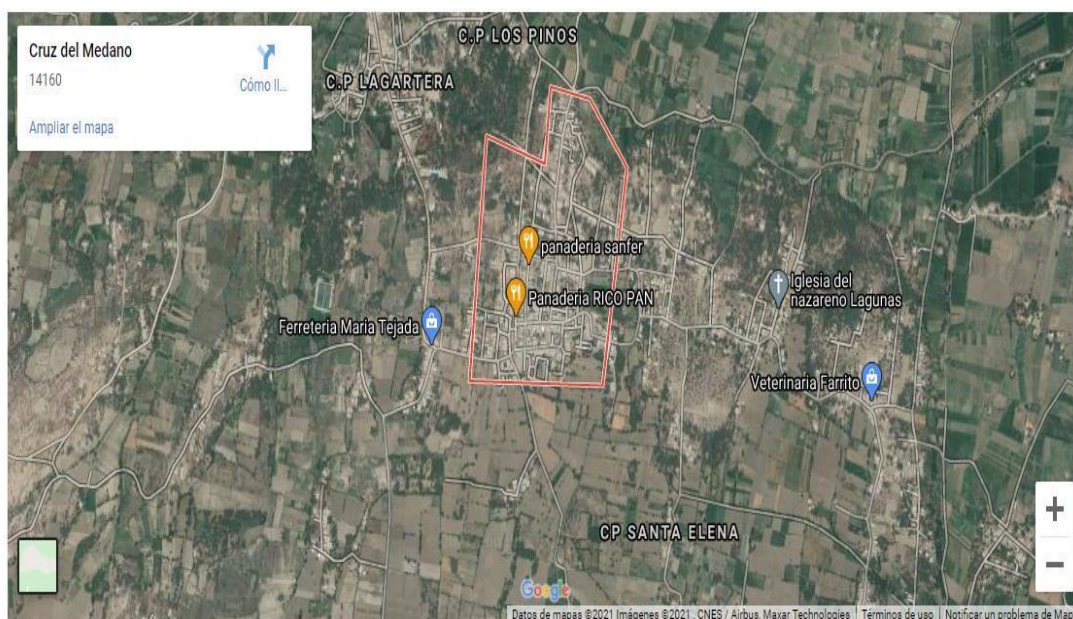
**Muestra:** se selecciona de los pozos muestreados por el ANA; el pozo de Cruz del Médano y se extrae 20 litros de agua.

**Unidad de análisis:** 120 ml para cada uno de los ensayos realizados.

**Ubicación del punto de muestreo:**

Figura 3

Ubicación de zona de muestreo



Fuente: <https://mapas.deperu.com/lambayeque/lambayeque/morrope/cruz-del-medano/>

Se selecciono el pozo de Cruz del Médano, por ser más accesible y por qué la gente aun lo utiliza.

### 3.3 Metodología

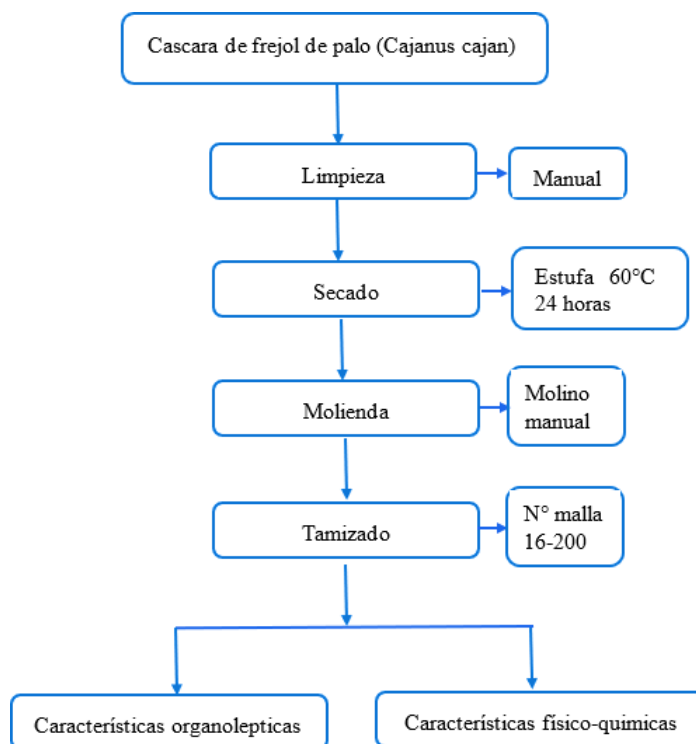
En esta sección se describe el método experimental utilizado para caracterizar la cascara de frijol de palo y su preparación, así como el proceso de adsorción de metales pesados.

### 3.3.1 Recolección y caracterización del biosorbente: cascara de frejol de palo (Cajanus cajan L.)

La cascara de frijol de palo (Cajanus cajan L.) fue recolectada en una cantidad de 20 kilos de la empresa Procesadora Perú SAC, ubicada en el Parque Industrial-Pimentel. Posteriormente se sometió a lavado con agua destilada, para posteriormente ser llevada a la estufa a un proceso de secado a una temperatura de 60 °C por un periodo de 24 horas.

Figura 4

Proceso de Recolección y caracterización del biosorbente



### 3.3.2 Análisis granulométrico:

Para este análisis granulométrico, se tomaron 478 g de muestra molida y seca, que luego se examinó para separación de tamaño utilizando un tamiz vibratorio con mallas A.S.T.M. Los tamices utilizados fueron marca ELE, su número se muestra en la Tabla 04. El peso de la muestra retenida en cada tamiz se determina como un porcentaje de cada fracción de tamaño de la cantidad total de la muestra original tamizada.

Tabla 4

Tamices utilizados en la separación partículas por tamaño

<b>N° malla (ASTM)</b>	<b>Tamaño, mm</b>
<b>40</b>	<b>0,425</b>
<b>50</b>	<b>0,300</b>
<b>60</b>	<b>0,250</b>
<b>80</b>	<b>0,180</b>
<b>100</b>	<b>0.150</b>
<b>200</b>	<b>0.075</b>

### 3.3.3 Análisis infrarrojo

Se lleva a cabo un análisis infrarrojo con un espectrofotómetro de IR por Transformada de Fourier (FTIR), Espectrofotómetro Infrarrojo. PERKIN ELMER, FRONTIER. Este análisis fue desarrollado por el laboratorio LABICER de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, el método utilizado fue Espectrofotometría Infrarroja por reflectancia total atenuada; adicionalmente se realizó otro ensayo de FTIR en el laboratorio LABINM-UPAO.

#### ➤ Fundamento del método

El espectro infrarrojo (IR), nos permitirá observar bandas a diversos números de onda de enlaces presentes en un compuesto químico. El número de onda es directamente proporcional con la energía de vibración de enlaces en el rango del infrarrojo. Los enlaces presentes en un compuesto pueden presentar diferentes formas vibracionales ya que esta depende del movimiento de los átomos que están alrededor del enlace, permitiendo de esta manera que las que las bandas de adsorción en el espectro infrarrojo de un enlace sean únicas referido a su longitud de onda y a su estructura. De tal manera que el espectro infrarrojo de una sustancia es su “Huella dactilar”, lo que permite que a través de esta técnica se puedan identificar compuestos orgánicos e inorgánicos.

### 3.4 Biosorción discontinua de arsénico

Para el desarrollo experimental se ha contado con un agitador magnético marca TORREY PINES SCIENTIFIC, con control de temperatura y con un máximo de velocidad de 1200 rpm. Se uso como reactor un vaso de vidrio de capacidad de 250 ml. Se realizo un control de pH del inicio al final del proceso. Se trabajo a un pH de 5.5, una velocidad de agitación de 800 rpm y a temperatura de 24°C; por un espacio de tiempo de 30 minutos. Luego se procedió a filtrar al vacío usando un embudo de filtro magnético. Figura 5

Figura 5.

Equipo experimental para el proceso de biosorción



Agitador magnético



Filtro al vacío pH-metro

En el desarrollo experimental, se coloca un volumen de 120 ml de muestra que contiene arsénico (As), se inicia la agitación, se homogeniza la temperatura, se ajusta el pH y se adiciona el biosorbente, una vez transcurrido el tiempo de proceso se procedió a filtrar al vacío usando un embudo de filtro magnético, se desecha el biosorbente y se analiza la fase líquida.

La concentración residual de arsénico en la fase líquida se midió mediante espectroscopía de emisión atómica en ICP - OES PRODIGY 7. Este instrumento



puede medir tanto la emisión atómica como la de iones, por lo que se pueden observar más longitudes de onda. Estas medidas se pueden comparar con un estándar para cuantificar la concentración de elementos en una muestra. (Method 200.7, Revision 4.4: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry-Anexo 2)

Se han realizado por triplicado todas las experiencias y de ellas se ha obtenido el valor medio. Se midió la concentración del analito en la muestra inicial sin tratamiento con la finalidad de poder determinar el porcentaje de remoción.

En la ejecución de los experimentos de biosorción de Arsénico (As) se ha utilizado:

- Una solución 3 ppm de arsénico, preparada en el laboratorio con agua desionizada y una solución estándar de arsénico cuya concentración es de 1000 ppm.
- Muestra de agua de pozo usada para consumo de la ciudad de Morrope.

Con la finalidad de poder demostrar la capacidad de biosorción de la cascara de frejol de palo, ya que no hay estudios de esta como material biosorbente, se realizó un ensayo piloto con una muestra preparada en el laboratorio con concentración conocida de Arsénico se usó 3,0 ml de patrón de arsénico cuya concentración es 1000 ppm , para preparar 1 litro de solución cuya concentración es 3 ppm y se utilizó para evidenciar la capacidad de biosorción del biosorbente, se ha mantenido constante la variable pH, temperatura, tiempo de contacto, velocidad de agitación, diámetro de partícula y se ha experimentado con dosis diferentes de material biosorbente se ha utilizado 10 mg, 30 mg y 60 mg. En la Tabla 5 y 6; se muestra el esquema de trabajo realizado.

Tabla 5

Esquema de trabajo solución preparada en laboratorio

Serie	pH	Diámetro partícula (mm)	[As] mg/L	[Biosorbent e e] m g/L	Tiempo de contacto (min)	Temperatura °C
1	5.5	< 0.5	3.0	0.083	30	24
2	5.5	< 0.5	3.0	0.25	30	24
3	5.5	< 0.5	3.0	0.50	30	24

Luego se desarrolló el mismo esquema con la muestra de agua natural, proveniente del pozo subterráneo ubicado en Cruz del Médano-Morrope.

Tabla 6

Esquema de trabajo agua de pozo

Serie	pH	Diámetro partícula (mm)	[As] mg/L	[Biosorbente] mg/L	Tiempo de contacto (min)	Temperatura °C
1	5.5	< 0.5	0.0377	0.083	30	24
2	5.5	< 0.5	0.0377	0.25	30	24
3	5.5	< 0.5	0.0377	0.50	30	24

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Procesamiento de la cascara de frejol de palo (*Cajanus cajan*)

La cascara verde de frejol de palo se lavó para eliminar impurezas con agua destilada para luego ser llevada a la estufa a una temperatura de 60°C por un espacio de 24±1 hora, cuando la cascara llego a tener una humedad de 12 a 13%. Se retiro para ser enfriada y triturada, para luego ser tamizada. (Figura 6)

**Figura 6**

**a. Cascara de Frejol de palo fresca; b. cascara de frejol de palo seca; c. Cascara de frejol de palo molida. d. Cascara molida tamizada.**



El tamizado dio por fracciones los pesos que se muestran en la tabla 7:

**Tabla 7**

**Fracciones en peso por malla en el tamizado**

<b>N° malla (ASTM)</b>	<b>Tamaño, mm</b>	<b>Peso, g</b>
<b>40</b>	<b>0,425</b>	<b>50.70</b>
<b>50</b>	<b>0,300</b>	<b>00.00</b>
<b>60</b>	<b>0,250</b>	<b>45.70</b>
<b>80</b>	<b>0,180</b>	<b>17.60</b>
<b>100</b>	<b>0.150</b>	<b>8.20</b>
<b>200</b>	<b>0.075</b>	<b>18.60</b>

Se tomo para la biosorción todo lo tamizado por debajo de malla 60, ya a mayor superficie de contacto mayor será la biosorción.

## **4.2 Resultados del Análisis de Infrarrojo**

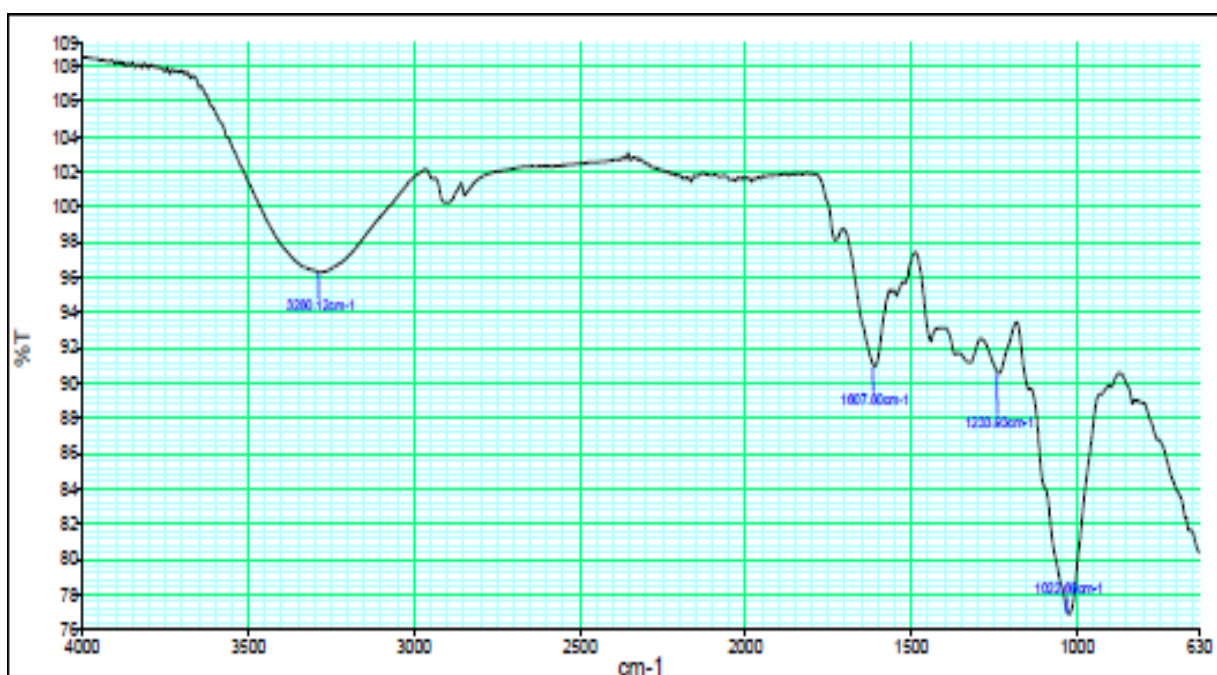
La muestra tamizada se sometió al análisis de FTIR, para esto se recurrió a laboratorio

LABICER de la Universidad Nacional de Ingeniería, Informe técnico N° 1693-19-LABICER (anexo 3), los resultados nos indican:

Que el perfil espectroscópico de la muestra de cáscara de frejol de palo, evidencia picos correspondientes a los siguientes grupos funcionales: O-H, C=C, C-N, CH<sub>3</sub>, C-O, N-H. como se muestra en la figura 7.

Figura 7

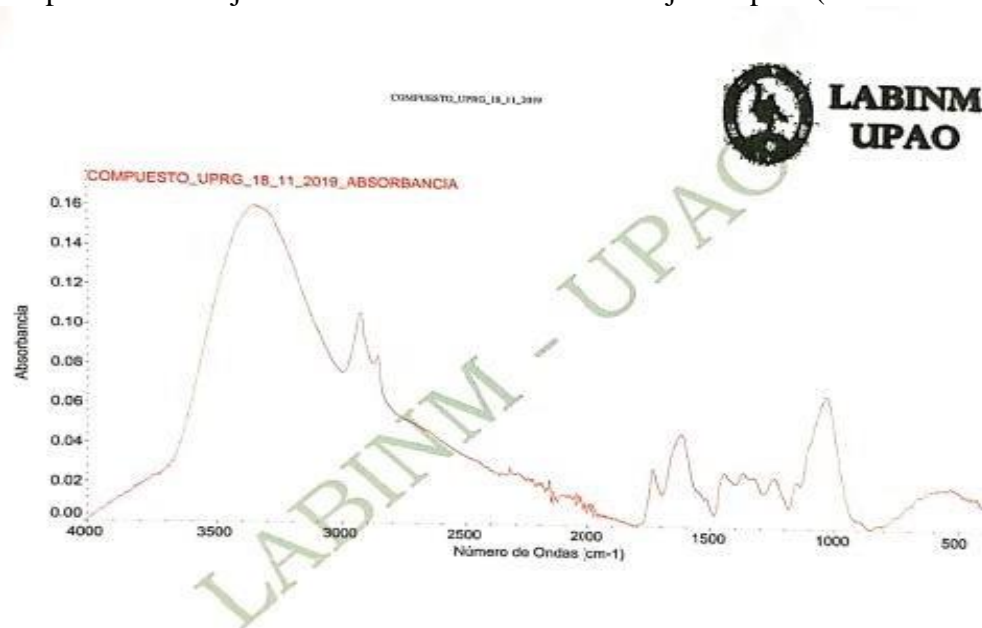
Espectro infrarrojo de la muestra de cascara de frejol de palo (LABICER-UNI).



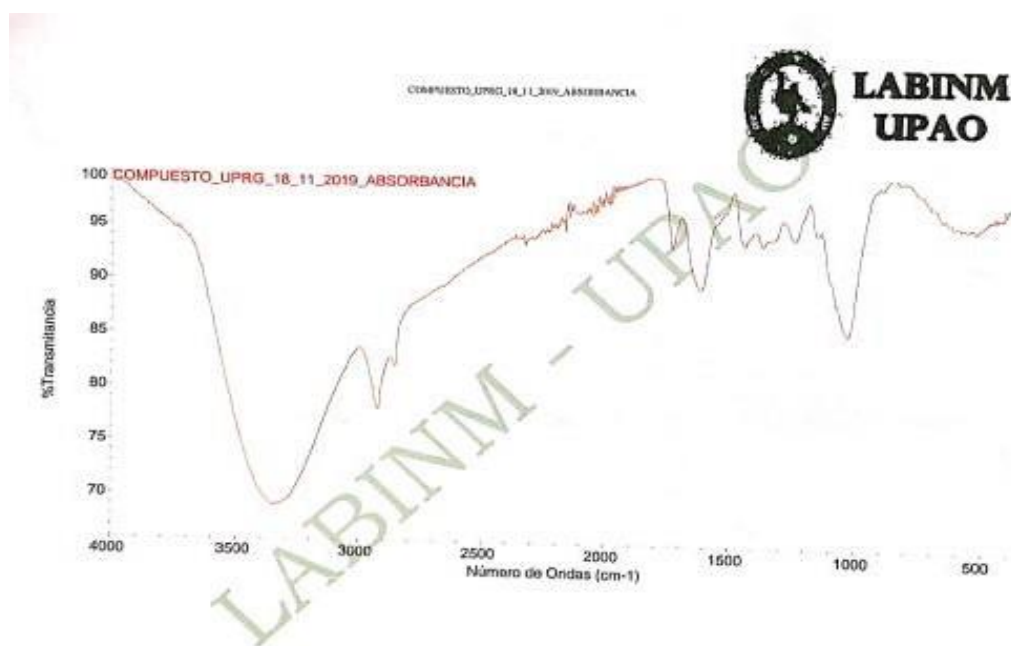
Los resultados del laboratorio LABINM -UPAO; nos muestra unas graficas similares, figura 8; donde los rangos de absorbancia y transmitancia más pronunciados se dan en la zona de 300 a 3700 cm<sup>-1</sup>, lo cual indica una presencia del ion oxhidrilo.

Figura 8

Espectro infrarrojo de la muestra de cascara de frejol de palo (LABINM-



UPAO).



### 4.3 Análisis Físico-químicos

#### 4.3.1 Muestra de agua de pozo

Se realizó el análisis físico-químico de la muestra de agua de pozo y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 8

Análisis Físico -químico de muestra de agua de pozo

Parámetro	Unidad	Resultado
pH a 25°C	pH	7.48
Turbidez	NTU	0.13
Conductividad a 25°C	µScm	2098
SDT	mg/L	1244
Dureza total	mg/L	485.3
Cloruros	mg/L	298.3
Arsénico	mg/L	0.37

Estos análisis Físico químicos se desarrollaron en el laboratorio de Química Analítica y Fotometría y en el laboratorio de Química orgánica de la Facultad de Ingeniería química e Industrias Alimentarias.

#### 4.3.2 Proceso de Biosorción

El biosorbente no recibió tratamiento alguno y este proceso se desarrolló en una muestra preparada en laboratorio obteniéndose los siguientes resultados, los tratamientos se realizaron por triplicado y se muestran en la tabla 9:

Tabla 9

Resultados del tratamiento a nivel de laboratorio

Muestra	As inicial (ppm)	Biosorbente (mg)	As final (ppm)	Promedio	Adsorción (ppm)	Promedio	Adsorción %	Prom. Adsorción %
1	3	10	2.377	2.344	0.623	0.656	20.767	21.856
2			2.308		0.692		23.067	
3			2.348		0.652		21.733	
1		30	2.193	2.163	0.807	0.827	26.900	27.567
2			2.167		0.833		27.767	
2			2.159		0.841		28.033	
1		60	2.105	2.106	0.895	0.894	29.833	29.799
2			2.107		0.893		29.766	
3			2.106		0.894		29.800	

Concentración	[As] ppm	[As] ppm	Prom. Adsorción %
Tratamiento			
Tratamiento -1	3.0	2.344	21.856
Tratamiento -2	3.0	2.163	27.900
Tratamiento -3	3.0	2.106	29.799

y luego se aplicó al agua natural proveniente del pozo subterráneo de Cruz del Médano- Morrope, los datos por triplicado obtenidos del análisis de agua de pozo que fue tratada con las tres dosis de biosorbente arrojaron los siguientes valores: Agua natural sin tratamiento concentración de arsénico 0.0377 ppm; que vendría hacer la concentración inicial.

Tabla 10

Resultados del tratamiento aplicado a agua de pozo subterráneo.

Muestra	As inicial (ppm)	Biosorbente (mg)	As final (ppm)	Promedio	Adsorción (ppm)	Promedio	Adsorción %	Prom. Adsorción %
1	0.0377	10	0.0350	0.034333	0.0027	0.0036667	7.1618	8.93
2			0.0340		0.0037		9.8143	
3			0.0340		0.0037		9.8143	
1		30	0.0317	0.031570	0.0060	0.0061333	15.9151	16.26
2			0.0316		0.0061		16.1804	
2			0.0314		0.0063		16.7109	
1		60	0.0308	0.030633	0.0069	0.007067	18.3024	18.74
2			0.0305		0.0072		19.0981	
3			0.0306		0.0071		18.8329	

Tratamiento	m (g)	Co(ppm)	Cf (ppm)	Prom. Adsorción %
1	0.01	0.0377	0.034333	8.93
2	0.03	0.0377	0.031570	16.26
3	0.06	0.0377	0.030633	18.74

#### 4.3.3 DISCUSION DE LOS RESULTADOS

No existe estudios específicos sobre uso del residuo vegetal: cascara de frejol de palo como material biosorbente, motivo de estudio en esta tesis, sin embargo, existen investigaciones acerca de biosorción de metales pesados y/o arsénico en materiales lignocelulósicos similares.

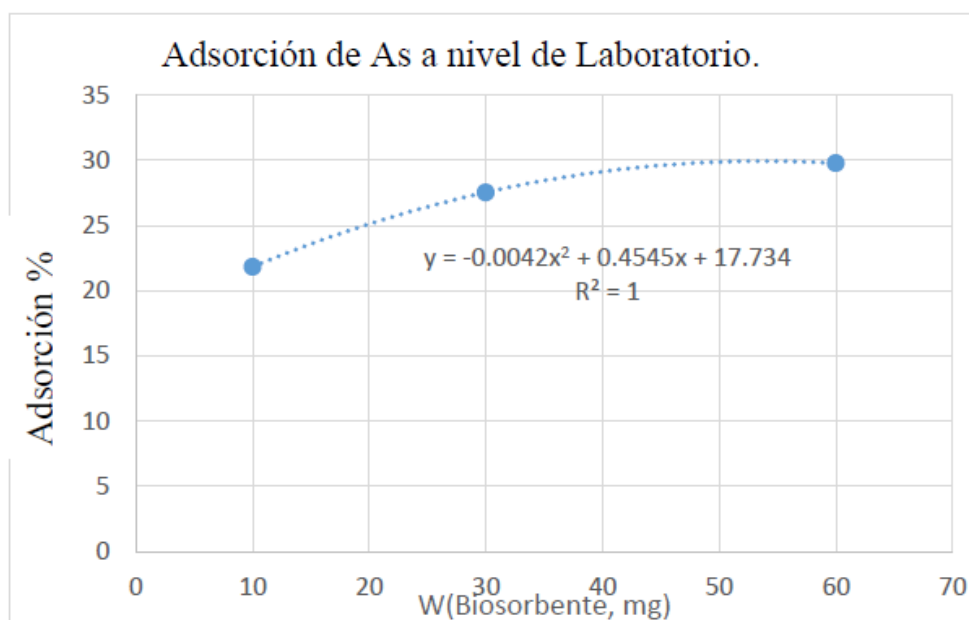
En su trabajo de investigación Dionisio Ruiz realizo estudio sobre aprovechamiento de residuos vegetales para eliminación de cobre, y pudo establecer que el pH adecuado esta alrededor de un valor de 5, siendo este valor significativo en cascara de piñón y en cascara de piña, así como Cardona Gutiérrez al estudiar la cascara de naranja como biosorbente encontró que el valor del pH para una mayor biosorción fue de 4.99 y un tamaño de partícula de 0.49 mm. Anna

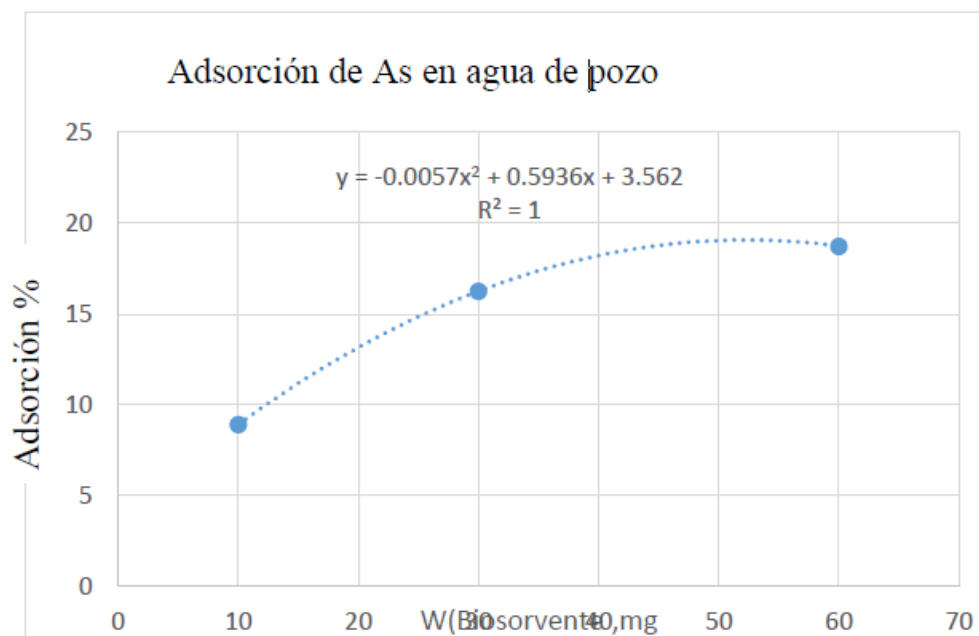


Illina uso cascara de maracuyá para remoción de arsénico y encontró un pH óptimo de 5 a temperatura de 20 a 25 °C. Domínguez determino un pH óptimo de 6 a 28°C y 1 g de biomasa. Considerando lo anterior se estableció como parámetros, para evaluar la remoción de arsénico a nivel de laboratorio (solución preparada) y en agua de pozo, un pH de 5.5, Diámetro de partícula menor de 0.5 mm, un tiempo de residencia de 30 minutos y temperatura de 24°C, encontrándose que al realizar los ensayos a estas condiciones la cascara de frejol de palo sin tratamiento, demostró remoción por adsorción tanto en muestra preparada como en agua de pozo, de hasta 29.799 % en la muestra preparada en el laboratorio y de un 18.74% en agua de pozo. Como se aprecia en la figura 9.

Figura 9:

Porcentaje de adsorción de arsénico a nivel laboratorio y en agua de pozo subterráneo, aplicando dosis de del biosorbente sin activación.





**En el anexo 04.** Se observa el análisis estadístico donde se puede apreciar que con un nivel de significancia del 5% los resultados referidos a la concentración final de arsénico y a la adsorción indican que las varianzas iguales, que los errores siguen una distribución normal.

## V. CONCLUSIONES

1. Se evaluó la cascara de frejol de palo que es un residuo agroindustrial, sin ningún tratamiento previo, primero en una prueba piloto a escala de laboratorio y luego se aplicó a agua natural de pozo del caserío Cruz del Médano-Morrope, obteniéndose resultados de remoción en los tres tratamientos aplicados en las dos pruebas como se evidencia en la tabla 09 y 10, estos resultados demuestran que la cascara de frejol de palo, es capaz de remover el Arsénico presente además de otros elementos presentes en el agua natural ( Anexo 6)
2. Se caracterizo la muestra de agua de pozo, realizándose para esta un análisis físico químico (tabla 8) y un análisis por espectroscopia de emisión atómica en un ICP – OES PRODIGY 7, Encontrándose una concentración de arsénico promedio de:0.037 ppm.
3. La caracterización de la cascara de frejol de palo se realizó por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) que nos muestra que: El perfil espectroscópico de la muestra de cáscara de frejol de palo, evidencia picos correspondientes a los siguientes grupos funcionales: O-H, C=C, C-N, CH<sub>3</sub>, C-O, N-H. Lo que implica la presencia de grupos oxhidrilo y aminos que pueden ser los responsables de la capacidad de adsorción de este material.
4. En este trabajo de investigación se compruebo que el tratamiento realizado a nivel de laboratorio y en la aplicación directa a agua de pozo subterráneo existe diferencia significativa en los 3 tratamientos siendo el tratamiento C es decir el tratamiento con 60 mg de biosorbente el mejor. Anexo N° 07; en agua de pozo el porcentaje de biosorción ha sido menor (18.74%) que en la prueba a nivel de laboratorio (29.799%) esto se debe a que en el agua de pozo están presentes otros elementos metálicos y no metálicos que pueden interferir en el proceso de adsorción. Estadísticamente esto es demostrado a través del estadístico T de alfa o prueba de TUKEY y el estadístico F.

## VI BIBLIOGRAFIA

- Albarracin Herrera, F. (2014). *Capacidad de adsorción para remover el ion metálico Pb (II) por el tanino de la cascara de Tarwi (lupinus mutabilis sweet) de las aguas del rio Ramis Puno, Perú*. Puno: Biblioteca Universidad del Altiplano- Puno <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/241/EPG695-00695-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Anna Iliná, J. L.-H.-C.-S.-J. (2009). Biosorción de Arsénico en materiales Derivados de Maracuyá. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 201- 2016.
- Brookins, D. (1986). Geochemical behavior of antimony, arsenic, cadmium and thallium: Eh-pH diagrams for 25C, 1 bar pressure. *Chemical geología Vol. 54*, 271- 278.
- Cañizares Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 42, 131-143.
- Cardona Gutiérrez, A. F., Cabañas Vargas, D. D., & Zepeda Pedreguera, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II)y Zn (II). *Ingeniería*, 1-9.
- Clewell, H. S.-M. (388-98). Research toward the development of a biologically based dose response assessment for inorganic arsenic carcinogenicity: A progress report. *Toxico Apple Pharmacol. Vol. 222 N°3*, 2007.
- Dionisio Ruiz, E. (2012). *Aprovechamiento de residuos vegetales para la eliminación de Cobre presente en medios acuosos mediante Biosorción*. Granada: Universidad de Granada.
- Erik E. Santos-Domínguez, J. M.-M.-G. (2017). Remoción de arsénico(V) en solución acuosa por biomasa modificada del hongo *Aspergillus Níger*. *Información Tecnológica*, 45-52.

- Feduchi-Blasco-Romero-Yañez. (2010). *BIOQUIMICA Conceptos esenciales*. Madrid, España: Medica Panamericana S.A.  
  
[https://books.google.com.pe/books?id=DhDxOpmcIfIC&pg=PA243&dq=ciclo+del+arsenico&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi92P6orJ\\_uAhVSHrkGHXBsDloQ6wEwAXoECAAAQ#v=onepage&q=ciclo%20del%20arsenico&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=DhDxOpmcIfIC&pg=PA243&dq=ciclo+del+arsenico&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi92P6orJ_uAhVSHrkGHXBsDloQ6wEwAXoECAAAQ#v=onepage&q=ciclo%20del%20arsenico&f=false)
- Gonzales, J. G. (2014). *El Acceso al Agua Potable Como Derecho Humano. Su Dimensión Internacional*. Alicante: Club Universitario.
- Guinan Sun, X. L. (2006). Current Research Problems of Chronic Arsenicosis in China. *J HEALTH POPUL NUTR*, 176-181.
- Hernán, G. A. (2007). Metales pesados y toxicidad de aguas del Río Aconcagua en Chile. *Química Nova*, 30(4).
- I. A. Rodríguez, J. F. Cárdenas, and G. V. M. Martínez. (2012). El uso de diferentes biomásas para la eliminación de metales pesados de sitios contaminados. *CONCYTEG, Ide@s*, vol. 7, no. 85, 911-922.
- Izquierdo Sánchez, M. (2011). *Eliminación de los metales pesados en aguas mediante bioadsorción. evaluación de materiales y modelación del proceso*. Valencia: Universitat de València. Servei de Publicacions.
- J. Fernando Larios - Meoño, C. G. (j de 2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer-Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2(2), 09-25.
- Jonh Astete, M. d. (2014). Niveles de metales pesados en el ambiente y su exposición en la población luego de cinco años de exploración minera en Las Bambas, Perú 2010. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 31(4), 695-701.
- Norma Cuiziano, A. N. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 124.

- ONU. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas, Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales El Recurso Desaprovechado*. Francia: UNESCO.
- Reyes1, Y. C. (Julio-diciembre de 2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 N.º 2, 66- 77.
- Ruiz, E. D. (2013). *Aprovechamiento de Residuos Vegetales para la eliminación de cobre presente en medios acuosos mediante biosorción*. Granada: Editorial de la Universidad de Granada.
- Salman Abbas, I. i. (2014). Biosorption of Heavy Metals: A Review. *Journal of Chemical Science and Technology*, 74-102.
- Trujillo Miranda, C. (2015). *Eliminación de cromo (VI) de medios acuosos mediante biosorción con hueso de aceituna: escalado del proceso y aplicación a la depuración de aguas reales*. Granada: Universidad de Granada.
- Vizcaíno Mendoza, L., & Fuentes Molina, N. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas,. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 43-60.
- Zhu, C., & Lu, P. (2011 Vol.62). Arsenic Eh-pH diagrams at 25°C and 1 Bar. *Environ Earth Sci*, 1673-1683.

## VII ANEXOS

**ANEXO 01.** Parámetros aceptables para que un agua pueda ser considerada apta para el consumo humano.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1 , 7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0 , 2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno ( DQO )	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0 , 15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> ) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto ( valor mínimo )	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9, 0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0 , 15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0 , 1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2 , 4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0 , 01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0 , 05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0 , 5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0 , 05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0 , 05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0 , 02
Zinc	mg/L	3	5	5

<b>ORGÁNICOS</b>				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C <sub>8</sub> - C <sub>40</sub> )	mg/L	0,01	0,2	1 , 0
Trihalometanos	( e )	1,0	1,0	1 , 0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiclorometano	mg/L	0,06	**	**
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
<b>BTEX</b>				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
<b>Organofosforados</b>				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrín + Dieldrín	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano ( DDT )	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	mg/L	0,01	0 , 01	**
<b>II. CIANOTOXINAS</b>				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
<b>III. BIFENILOS POLICLORADOS</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARA SITOLÓGICOS</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	Nº Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	Nº Organismo/L	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

Fuente: Decreto supremo N° 002-2008-MINAN



## **ANEXO 02**

Method 200.7, Revision 4.4: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Revisar en el siguiente Link

**[https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method\\_200-7\\_re\\_4\\_1994.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_200-7_re_4_1994.pdf)**

## ANEXO 03

### Resultados de Análisis FTIR -LABICER-UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



#### INFORME TÉCNICO N° 1693 – 19 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : DOYLE ISABEL BENEL FERNÁNDEZ
  - 1.2 DNI : 75226710
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 25 / 09 / 2019
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 09 / 2019
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS QUÍMICO EN CÁSCARA DE FREJOL
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA MOLIDA DE CÁSCARA DE FREJOL DE PALO
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21°C; Humedad relativa: 69%
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro Infrarrojo. PERKIN ELMER, FRONTIER.
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Espectrofotometría Infrarroja	El perfil espectroscópico de la muestra de cáscara de frejol de palo, evidencia picos correspondientes a los siguientes grupos funcionales: O-H, C=C, C-N, CH <sub>3</sub> , C-O, N-H. <i>Ver espectro en Anexo</i>	Espectrofotometría Infrarroja por reflectancia total atenuada

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

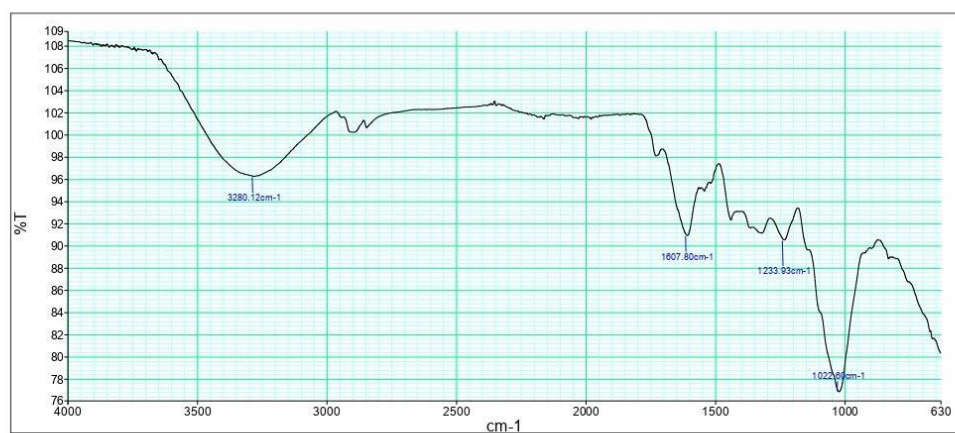
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quím. Natalia Chávez  
Analista Químico  
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Responsable del análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

## ANEXO



**Figura 1.** ESPECTRO INFRARROJO DE LA MUESTRA DE CÁSCARA DE FREJOL DE PALO.

**Tabla 1.** ASIGNACIÓN DE PICOS DEL ESPECTRO INFRARROJO DE LA MUESTRA

Picos Característicos de la muestra (cm <sup>-1</sup> )	Grupo Funcional	Modo de vibración	Rango de absorción (cm <sup>-1</sup> )
3280.12	O – H	Tensión (fuerte)	3000 – 3700
1607.80	C = C	Tensión (medio-débil)	1675 – 1600
	N – H	Flexión (banda ancha)	1640 – 1560
1233.93	C – N	Tensión (débil)	1350 – 1000
	CH <sub>3</sub>	Tensión (débil)	~1200
1022.60	C – O	Tensión (fuerte)	1320 – 1000
	= C – H	Flexión fuera del plano	100 - 650

**ANEXO 04**  
Análisis estadístico

**AGUA A NIVEL DE LABORATORIO**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.09064689	2	0.04532344	89.6113796	3.3992E-05	5.14325285
Dentro de los grupos	0.00303467	6	0.00050578			
Total	0.09368156	8				

Tratamiento	mg
A	10
B	30
C	60

tratamiento	repeticiones			Promedio	a	niveles	3
	1	2	3				
A	0.623	0.692	0.652	0.65566667			
B	0.807	0.833	0.841	0.827			
C	0.895	0.893	0.894	0.894			
Diferencias			q0.05 (3;6)	4.339			
YA-YB	0.17133333		MSE	5.06E-04	T	5.63E-02	
YA-YC	0.23833333		n	3			
YB-YC	0.067		Medias				
	1.15E-01	mayor	diferente				
	1.82E-01	mayor	diferente				
	1.07E-02	mayor	diferente				
			Medias				
	1.26E-01	mayor	diferente	T (0.025; 6)	2.44691185	F	4.49E-02
	1.93E-01	mayor	diferente				
	2.21E-02	mayor	diferente				

## AGUA DE POZO SUBTERRANEO

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2.2216E-05	2	1.1108E-05	87.6929825	3.6195E-05	5.14325285
Dentro de los grupos	0.00000076	6	1.27E-07			
Total	2.2976E-05	8				

Tratamiento	mg
A	10
B	30
C	60

tratamiento	repeticiones			promedio	a	niveles	3
	1	2	3				
A	0.0027	0.0037	0.0037	0.00336667	n	observaciones	3
B	0.006	0.0061	0.0063	0.00613333			
C	0.0069	0.0072	0.0071	0.00706667			
Diferencias			q0.05 (3;6)	4.339			
YA-YB	0.00276667		MSE	1.27E-07	T	8.92E-04	
YA-YC	0.0037		n	3			
YB-YC	0.00093333		medias				
	1.88E-03	Mayor	diferente				
	2.81E-03	Mayor	diferente				
	4.18E-05	Mayor	diferente				
			Resultados son significativamente diferentes entre los tratamientos				
			medias				
	2.06E-03	mayor	diferente	T (0.025; 6)	2.44691185	F	7.11E-04
	2.99E-03	mayor	diferente				
	2.22E-04	mayor	diferente				

## ANEXO 05

### Cuadros Excel

Muestra: Agua preparada en el Laboratorio										
Elemento	Conc. Inicial	MTS1a	MTS1b	MTS1c	MTS2a	MTS2b	MTS2c	MTS3a	MTS3b	MTS3c
Arsénico (As) mg/L	3	2.377	2.308	2.348	2.193	2.167	2.229	2.185	2.197	2.206

Condiciones de operación	
pH =6	
Tiempo=30 min	
RPM 2500	

Muestra preparada en el laboratorio								
Muestra	As inicial (ppm)	Biosorbente (mg)	As final (ppm)	Promedio	Adsorción (ppm)	Promedio	adsorción sin Xprom	ADSORCION EN %
1	3	10	2.377	2.344	0.623	0.656	20.767	21.856
2			2.308		0.692		23.067	
3			2.348		0.652		21.733	
1		30	2.193	2.173	0.807	0.827	26.900	27.567
2			2.167		0.833		27.767	
2			2.159		0.841		28.033	
1		60	2.105	2.106	0.895	0.894	29.833	29.800
2			2.107		0.893		29.767	
3			2.106		0.894		29.800	

Muestra: Agua de pozo												
Elemento	MST1	MST2	MST3	MCT1a	MCT1b	MCT1c	MCT2a	MCT2b	MCT2c	MCT3a	MCT3b	MCT3c
Arsenico(As) mg/L	0.0380	0.0380	0.0370	.0349	.0341	.0311	.0360	.0316	.0325	.0346	.0313	.0326

Condiciones de operación			
MST	Con As		pH =6
Promedio	0.0377		Tiempo=30 min
			RPM 2500

Agua de pozo								
Muestra	As inicial (ppm)	Biosorvente (mg)	As final (ppm)	Promedio	Adsorción (ppm)	Promedio	ADSORCIÓN SIN X prom %	ADSORCIÓN EN %
1	0.0377	10	0.0350	0.0343	0.00270	0.003367	7.162	8.9302
2			0.0340		0.00370		9.814	
3			0.0340		0.00370		9.814	
1		30	0.0317	0.0316	0.00600	0.006133	15.915	16.2688
2			0.0316		0.00610		16.180	
2			0.0314		0.00630		16.711	
1		60	0.0308	0.0306	0.00690	0.007067	18.302	18.7445
2			0.0305		0.00720		19.098	
3			0.0306		0.00710		18.833	

## ANEXO 06

### Resultados del análisis con ICP-FIQA

#### Resultado de análisis de agua

**SOLICITANTE** : Mg. Doyle Isabel Benel Fernández  
**ASUNTO** : Análisis de metales pesados  
**MUESTRA** : Agua de Pozo (Morrope)  
**N° DE MUESTRAS** : 12  
**MUESTRA:** Tomada por el solicitante  
**PROYECTO** : Tesis Doctoral  
**MÉTODO** : 200.7, Revision 4.4: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission  
**FECHA DE ANALISIS** : 17-05-2022

#### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

ENSAYOS			QUIMICOS					
Codigo de muestra			MST1	MST2	MST3	MCT1a	MCT1b	MCT1c
Matriz			Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo
Descripción			Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo
Localización de la muestra			Morrope	Morrope	Morrope	Morrope	Morrope	Morrope
Parametro	Unidad	LCM	Resultado de metales pesados					
Plata (Ag)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio(Al)	mg/L	0.022	0.057	0.0384	0.024	0.044	0.028	0.033
Arsenico(As)	mg/L	0.003	0.038	0.038	0.037	0.035	0.034	0.034
Boro(B)	mg/L	0.021	0.286	0.281	0.277	0.264	0.253	0.262
Bario(Ba)	mg/L	0.002	0.019	0.019	0.019	0.018	0.017	0.018
Berilio(Be)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bismuto(Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio(Ca)	mg/L	0.070	28.01	28.03	27.37	25.81	25.12	25.92
Cadmio(Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto(Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	0.003	0.004	0.002
Cromo(Cr)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre(Cu)	mg/L	0.014	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Hierro(Fe)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio(K)	mg/L	0.049	0.586	0.547	0.545	2.187	2.016	1.728
Litio(Li)	mg/L	0.004	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007
Magnesio(Mg)	mg/L	0.017	12.58	12.55	12.47	12.11	11.55	12.03
Manganeso(Mn)	mg/L	0.002	0.006	0.005	0.005	0.009	0.008	0.008
Molibdeno(Mo)	mg/L	0.002	0.025	0.023	0.024	0.019	0.015	0.014
Sodio(Na)	mg/L	0.018	360.8	354.7	362.2	620.2	590.1	610.7
Niquel(Ni)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fosforo(P)	mg/L	0.020	0.26	0.274	0.247	0.37	0.303	0.295
Plomo(Pb)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Asufre(S)	mg/L	0.085						
Antimonio(Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio(Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio(Si)	mg/L	0.085	16.21	16.23	16.08	15.91	15.19	15.91
Estroncio(Sr)	mg/L	0.002	0.372	0.368	0.369	0.341	0.326	0.341
Titanio(Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio(Tl)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Uranio(U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio(V)	mg/L	0.003	0.072	0.071	0.072	0.032	0.031	0.038
Zinc(Zn)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM



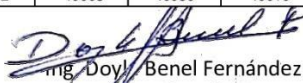
ENSAYOS			QUIMICOS					
Codigo de muestra			MCT2a	MCT2b	MCT2c	MCT3a	MCT3b	MCT3c
Matriz			Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo
Descripción			Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo	Agua de pozo
Localización de la muestra			Morrope	Morrope	Morrope	Morrope	Morrope	Morrope
Parametro	Unidad	LCM	Resultado de metales pesados					
Plata (Ag)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio(Al)	mg/L	0.022	0.026	0.026	0.028	<LCM	0.036	0.053
Arsenico(As)	mg/L	0.003	0.0317	0.0316	0.0314	0.0308	0.0305	0.0306
Boro(B)	mg/L	0.021	0.266	0.262	0.261	0.261	0.261	0.256
Bario(Ba)	mg/L	0.002	0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.017
Berilio(Be)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bismuti(Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio(Ca)	mg/L	0.070	26.22	25.94	25.99	25.23	25.38	25.32
Cadmio(Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto(Co)	mg/L	0.002	<LCM	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004
Cromo(Cr)	mg/L	0.002	<LCM	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre(Cu)	mg/L	0.014	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Hierro(Fe)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.033
Potasio(K)	mg/L	0.049	3.465	3.723	3.588	6.225	6.124	7.035
Litio(Li)	mg/L	0.004	0.007	0.008	0.007	0.007	0.008	0.008
Magnesio(Mg)	mg/L	0.017	12.39	12.5	12.26	12.35	12.38	12.19
Manganeso(Mn)	mg/L	0.002	0.009	0.009	0.009	0.013	0.014	0.016
Molibdeno(Mo)	mg/L	0.002	0.015	0.016	0.016	0.01	0.009	0.01
Sodio(Na)	mg/L	0.018	594.6	612.1	592.6	696.6	664.7	615.3
Niquel(Ni)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fosforo(P)	mg/L	0.020	0.508	0.508	0.49	0.865	0.827	0.851
Plomo(Pb)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Asufre(S)	mg/L	0.085						
Antimonio(Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio(Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio(Si)	mg/L	0.085	16.03	16.13	16.07	15.98	15.95	15.92
Estroncio(Sr)	mg/L	0.002	0.34	0.341	0.339	0.323	0.328	0.322
Titanio(Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio(Tl)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Uranio(U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio(V)	mg/L	0.003	0.022	0.023	0.021	0.016	0.016	0.016
Zinc(Zn)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

## Resultado de análisis de agua

**SOLICITANTE** : Mg. Doyle Isabel Benel Fernández  
**ASUNTO** : Análisis de metales pesados  
**MUESTRA** : Agua con Arsénico preparada en el Laboratorio  
**N° DE MUESTRAS** : 09  
**MUESTRA:** Preparada por el solicitante  
**TIPO DE USO** : -----  
**PROYECTO** : Tesis Doctoral  
**MÉTODO** : 200.7, Revision 4.4: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission  
**FECHA DE ANALISIS** : 20-05-2022

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

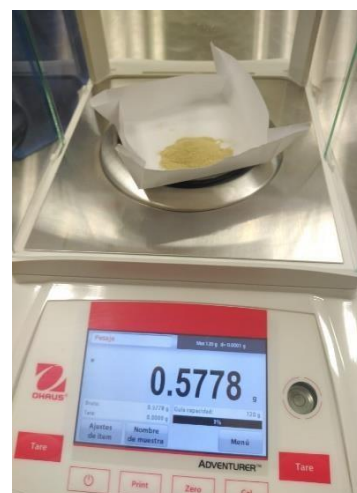
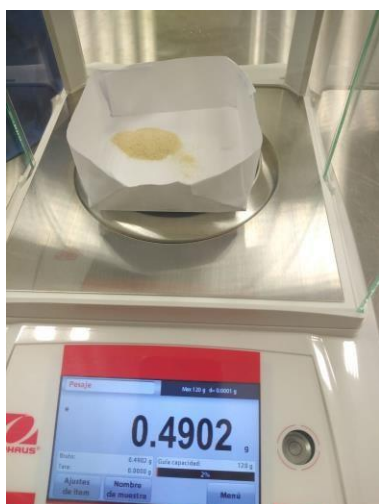
ENSAYOS			QUIMICOS								
Codigo de muestra	MTS1a	MTS1b	MTS1c	MTS2a	MTS2b	MTS2c	MTS3a	MTS3b	MTS3c		
Matriz	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.
Descripción	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.	Agua preparada en Lab.
Localización de la muestra											
Parametro	Unidad	LCM	Resultado de metales pesados								
Plata (Ag)	mg/L	0.017	.0000	.0009	.0019	.0010	.0013	.0014	.0002	.0024	.0013
Aluminio(Al)	mg/L	0.022	.0111	.0076	.0215	.0112	.0126	.0236	.0034	.0171	.0044
Arsenico(As)	mg/L	0.003	2.377	2.308	2.348	2.193	2.167	2.159	2.105	2.107	2.106
Boro(B)	mg/L	0.021	.0016	.0016	.0024	.0001	.0024	.0001	.0011	.0046	.0021
Bario(Ba)	mg/L	0.002	.0007	.0003	.0005	.0003	.0011	.0003	.0003	.0001	.0001
Berilio(Be)	mg/L	0.002	.0004	.0004	.0003	.0004	.0004	.0003	.0004	.0003	.0003
Bismuto(Bi)	mg/L	0.016	.0002	.0044	.0056	.0036	.0026	.0058	.0049	.0049	.0046
Calcio(Ca)	mg/L	0.070	.5871	.3757	.3659	.3627	.5105	.3747	.4637	.4494	.3611
Cadmio(Cd)	mg/L	0.002	.0008	.0009	.0009	.0007	.0008	.0010	.0009	.0008	.0009
Cobalto(Co)	mg/L	0.002	.0001	.0006	.0003	.0005	.0011	.0003	.0001	.0000	.0001
Cromo(Cr)	mg/L	0.002	.0005	.0003	.0007	.0007	.0001	.0007	.0004	.0006	.0002
Cobre(Cu)	mg/L	0.014	.0052	.0002	.0001	.0002	.0020	.0008	.0028	.0015	.0005
Hierro(Fe)	mg/L	0.019	.0056	.0037	.0125	.0041	.0109	.0025	.0001	.0011	.0106
Potasio(K)	mg/L	0.049	1.996	1.721	1.499	3.097	3.006	3.465	7.345	6.503	6.636
Litio(Li)	mg/L	0.004	.0005	.0009	.0006	.0008	.0009	.0009	.0008	.0008	.0006
Magnesio(Mg)	mg/L	0.017	.1912	.0863	.0783	.1852	.1803	.1801	.3215	.3478	.3168
Manganeso(Mn)	mg/L	0.002	.0029	.0011	.0024	.0021	.0037	.0018	.0028	.0021	.0024
Molibdeno(Mo)	mg/L	0.002	.0002	.0003	.0007	.0002	.0004	.0002	.0002	.0001	.0006
Sodio(Na)	mg/L	0.018	70.93	69.59	64.96	54.29	54.71	60.00	46.45	47.65	46.31
Niquel(Ni)	mg/L	0.002	.0038	.0010	.0006	.0002	.0006	.0007	.0001	.0010	.0004
Fosforo(P)	mg/L	0.020	.2366	.1479	.1948	.3654	.3663	.3773	.7269	.7163	.7359
Plomo(Pb)	mg/L	0.003	.0036	.0043	.0041	.0047	.0019	.0029	.0062	.0032	.0042
Asufre(S)	mg/L	0.085									
Antimonio(Sb)	mg/L	0.005	.0014	.0004	.0010	.0009	.0002	.0010	.0003	.0011	.0009
Selenio(Se)	mg/L	0.017	.0025	.0032	.0021	.0012	.0025	.0016	.0027	.0035	.0017
Silicio(Si)	mg/L	0.085	.1601	.2237	.1597	.2183	.2174	.2002	.2045	.1856	.1991
Estroncio(Sr)	mg/L	0.002	.0036	.0023	.0016	.0016	.0022	.0019	.0022	.0021	.0018
Titanio(Ti)	mg/L	0.004	.0015	.0017	.0011	.0002	.0012	.0010	.0021	.0000	.0004
Talio(Tl)	mg/L	0.003	.0005	.0003	.0015	.0019	.0015	.0017	.0026	.0022	.0024
Uranio(U)	mg/L	0.004	.0037	.0080	.0018	.0003	.0041	.0068	.0008	.0032	.0000
Vanadio(V)	mg/L	0.003	.0019	.0024	.0010	.0009	.0015	.0009	.0012	.0002	.0023
Zinc(Zn)	mg/L	0.016	.0050	.0028	.0002	.0008	.0039	.0010	.0020	.0018	.0024

  
 Mg. Doyle Isabel Benel Fernández

## ANEXO 07

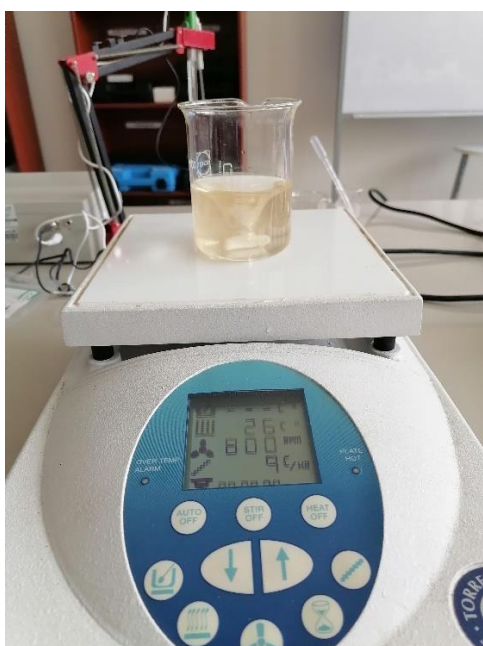
### Figuras de trabajo en Laboratorios - FIQIA

#### Tamizado y pesado





## Proceso de adsorción




## Proceso de filtración



## Determinación de Concentración de As y otros, con el ICP-OES



## ANEXO 08 Acta de sustentación de tesis

	<b>ESCUELA DE POSGRADO</b> <i>M.Sc. Francis Villena Rodríguez</i>	Versión:	01
		Fecha de Aprobación	29-8-2020
UNIDAD DE INVESTIGACION	<u>FORMATO DE ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS</u>	Pág. 1 de 3	

### ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 5.00 p.m. del miércoles 28 de diciembre de 2022, se dio inicio a la Sustentación Virtual de Tesis soportado por el sistema Google Meet, preparado y controlado por la Unidad de Tele Educación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, con la participación en la Video Conferencia de los miembros del Jurado, nombrados con Resolución N°1339 – 2019 de fecha 02 de octubre de 2022, conformado por:

Dr. CESAR ALBERTO GARCIA ESPINOZA	Presidente
Dr. ADOLFO SEGUNDO DIAZ YZAGUIRRE	Secretario
Dra. GIANINA LLONTOP BARANDIARAN	Vocal
Dr. CESAR AUGUSTO MONTEZA ARBULU	Asesor

Para evaluar el informe de tesis de la tesista DOYLE ISABEL BENEL FERNANDEZ, candidata a optar el grado de DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES, con la tesis titulada “TRATAMIENTO ALTERNATIVO CON BIOMASA VEGETAL PARA DISMINUIR LA CONCENTRACION DE ARSENICO EN AGUA SUBTERRANEA UTILIZADA COMO AGUA POTABLE EN EL DISTRITO DE MORROPE”.


El Sr. Presidente, después de transmitir el saludo a todos los participantes en la Video Conferencia de la Sustentación Virtual ordenó la lectura de la Resolución N°1323- 2022-EPG de fecha 26 de diciembre de 2022, que autoriza la Sustentación Virtual del Informe de tesis correspondiente, luego de lo cual autorizó a la candidata a efectuar la Sustentación Virtual, otorgándole 30 minutos de tiempo y autorizando también compartir su pantalla.

Culminada la exposición de la candidata, se procedió a la intervención de los miembros del jurado, exponiendo sus opiniones y observaciones correspondientes, posteriormente se realizaron las preguntas a la candidata.

Culminadas las preguntas y respuestas, el Sr. Presidente, autorizó el pase de los miembros del Jurado a la sala de video conferencia reservada para el debate sobre la Sustentación Virtual del Informe de tesis realizada por la candidata, evaluando en base a la rúbrica de

Formato : Físico/Digital	Ubicación : UI- EPG - UNPRG	Actualización:
--------------------------	-----------------------------	----------------



 <b>UNPRG</b> <small>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</small>	<b>ESCUELA DE POSGRADO</b> <i>M.Sc. Francis Villena Rodríguez</i>	Versión:	01
		Fecha de Aprobación	29-8-2020
UNIDAD DE INVESTIGACION	<b><u>FORMATO DE ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL</u></b> <b><u>DE TESIS</u></b>	Pág. 2 de 3	

sustentación y determinando el resultado total de la tesis con 19.6 puntos, equivalente a EXCELENTE, quedando la candidata apta para optar el Grado de DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES.

Se retornó a la Video Conferencia de Sustentación Virtual, se dio a conocer el resultado, dando lectura del acta y se culminó con los actos finales en la Video Conferencia de Sustentación Virtual.

Siendo las 18.45 horas se dio por concluido el acto de Sustentación Virtual.



Dr. CESAR ALBERTO GARCIA ESPINOZA  
PRESIDENTE



Dr. ADOLFO SEGUNDO DIAZ YZAGUIRRE  
SECRETARIO



Dra. GIANINA LLONTOP BARANDIARAN  
VOCAL



Dr. CESAR AUGUSTO MONIEZA ARBULU  
ASESOR



Formato : Físico/Digital	Ubicación : UI- EPG - UNPRG	Actualización:
--------------------------	-----------------------------	----------------



## ANEXO 09 .

### **CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD**

Yo Cesar Augusto Monteza Arbulu, usuario revisor de la Tesis titulada:

“Tratamiento alternativo con biomasa vegetal para disminuir la concentración de arsénico en agua subterránea utilizada como agua potable en el distrito de Mórrope”

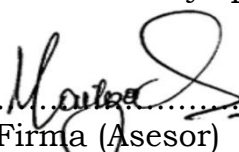
Cuyo autor (es) son:

1.- Doyle Isabel Benel Fernández; identificado (a) (os) (as) con documento de identidad: 16686687; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud 17%, verificables en el Resumen del Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito (a) analizó reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos,

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 12 de diciembre del 2022

.....

Firma (Asesor)

Nombres y Apellidos: Cesar Augusto Monteza Arbulu  
DNI 16681280

Se Adjunta:

*Resumen de Reporte automatizado de similitudes*  
*Recibo digital*

## Informe Final Tesis Doctoral

### INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

3%

2

[repositorio.uteq.edu.ec](http://repositorio.uteq.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

3

[repositorio.uap.edu.pe](http://repositorio.uap.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

4

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Fuente de Internet

1%

5

[0-hera.ugr.es.adrastea.ugr.es](http://0-hera.ugr.es.adrastea.ugr.es)

Fuente de Internet

1%

6

[dspace.unitru.edu.pe](http://dspace.unitru.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

8

[bdigital.unal.edu.co](http://bdigital.unal.edu.co)

Fuente de Internet


<1%

9

[repositorio.unap.edu.pe](http://repositorio.unap.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

  
Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu  
DNI: 16681280  
Asesor

10

habana.qfa.uam.es

Fuente de Internet

&lt;1 %

Trabajo del estudiante

22

repositorio.ufpso.edu.co

Fuente de Internet

&lt;1 %

23

www.globalwaters.org

Fuente de Internet

&lt;1 %

24

www.turkak.org.tr

Fuente de Internet

&lt;1 %

25

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

&lt;1 %

26

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

&lt;1 %

27

cjees.ro

Fuente de Internet

&lt;1 %

17

Fuente de Internet

&lt;1 %

28

repositorio.espam.edu.ec

Fuente de Internet

&lt;1 %

29

repositorio.ucundinamarca.edu.co

Fuente de Internet

&lt;1 %

30

www.slideshare.net

Fuente de Internet

&lt;1 %

31

journals.plos.org

Fuente de Internet

&lt;1 %

32


repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

&lt;1 %

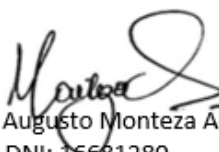
33

rodin.uca.es


  
 Dr. Cesar Augusto Monteza Árbulu  
 DNI: 16681280  
 Asesor

13


	Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://worldwidescience.org">worldwidescience.org</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://repositorio.unapiquitos.edu.pe">repositorio.unapiquitos.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://doczz.es">doczz.es</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://fr.slideshare.net">fr.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	<1 %
41	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://repositorio.upct.es">repositorio.upct.es</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://www.indeci.gob.pe">www.indeci.gob.pe</a> Fuente de Internet	

  
 Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu  
 DNI: 16681280  
 Asesor


		<1 %
45	"Arsenic in Drinking Water and Food", Springer Science and Business Media LLC, 2020 Publicación	<1 %
46	Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %
47	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
48	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
49	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
52	repositorioinstitucional.uson.mx Fuente de Internet	<1 %
53	roderic.uv.es Fuente de Internet	<1 %
54	Submitted to unsaac	

  
 Dr. Cesar Augusto Monteza Árbulu  
 DNI: 16681280  
 Asesor

	Trabajo del estudiante	<1 %
55	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="http://www.scielo.sa.cr">www.scielo.sa.cr</a> Fuente de Internet	<1 %
57	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
58	<a href="http://mafiadoc.com">mafiadoc.com</a> Fuente de Internet	<1 %
59	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
60	<a href="http://agrobyte.lugo.usc.es">agrobyte.lugo.usc.es</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="http://repositorio.pedagogica.edu.co">repositorio.pedagogica.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="http://repository.javeriana.edu.co">repository.javeriana.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="http://ruidera.uclm.es">ruidera.uclm.es</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://www.facsa.com">www.facsa.com</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %

  
 Dr. Cesar Augusto Monteza Árbulu  
 DNI: 16681280  
 Asesor

66	Karina del Valle Peña Rodríguez. "Desarrollo de una metodología para la evaluación del desempeño y la sostenibilidad ambiental en la gestión del agua potable. Caso de Estudio: Aguas de Mérida C.A. (Venezuela).", Universitat Politecnica de Valencia, 2019 Publicación	<1 %
67	americanae.aecid.es Fuente de Internet	<1 %
68	bibliotecas.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
69	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
70	go.galegroup.com Fuente de Internet	<1 %
71	repositorio.ipicyt.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
72	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
73	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
74	repositorioinstitucional.uaslp.mx Fuente de Internet	<1 %
75	reproductiverights.org Fuente de Internet	<1 %

  
 Dr. Cesar Augusto Monteza Árbulu  
 DNI: 16681280  
 Asesor

76	<a href="http://www.cofepris.gob.mx">www.cofepris.gob.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
77	<a href="http://www.fao.org">www.fao.org</a> Fuente de Internet	<1 %
78	<a href="http://www.powtoon.com">www.powtoon.com</a> Fuente de Internet	<1 %
79	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
80	<a href="http://www.uclm.es">www.uclm.es</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias      < 9 words

  
Dr. Cesar Augusto Monteza Árbulu  
DNI: 16681280  
Asesor



## Recibo digital-Turnitin



### Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Doyle Isabel Benel Fernandez  
Título del ejercicio: Tesis Doctoral  
Título de la entrega: Informe Final Tesis Doctoral  
Nombre del archivo: TESIS\_INFORME\_FINAL\_DIBF.pdf  
Tamaño del archivo: 3.76M  
Total páginas: 66  
Total de palabras: 12,712  
Total de caracteres: 68,375  
Fecha de entrega: 14-dic.-2022 07:26p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 1981538962



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis presentada para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales

PRESENTADA POR:

Doyle Isabel Benel Fernández

LAMBAYEQUE - PERÚ - 2022

Derechos de autor 2023 Turnitin. Todos los derechos reservados.

Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu  
DNI: 16681280  
Asesor