



UNIVERSIDAD DE LAMBAYEQUE
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CON JACINTO DE AGUA
(*Eichhornia crassipes*) PARA DISMINUIR CONCENTRACIONES DE
ARSÉNICO EN AGUAS DEL CENTRO POBLADO CRUZ DEL
MEDANO - MORROPE – 2019

PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

BACH. ROJAS ADRIANZEN, LISBET PAMELA

BACH. SUYON DIAZ, ELIZABETH DEL PILAR

Asesora:

Msc. Flores Mino Betty Esperanza

Línea de Investigación:

Contaminación Ambiental y Biotecnología

Chiclayo, Perú

2020

EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CON JACINTO DE AGUA (*Eichhornia crassipes*) PARA DISMINUIR CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUAS DEL CENTRO POBLADO CRUZ DEL MEDANO- MORROPE – 2019.

FIRMA DEL ASESOR Y JURADO DE TESIS

Msc. Betty Esperanza Flores Mino
ASESORA

Msc. Enrique Santos Nauca Torres
PRESIDENTE

Ing. Jorge Tomás Cumpa Vásquez
SECRETARIO

Msc. Betty Esperanza Flores Mino
VOCAL

Dedicatoria

Dedico este presente trabajo de investigación a mis padres, hermanas, abuelos, familia que me han brindado constantemente su apoyo, amor y fortaleza para lograr mi propósito de culminar la carrera universitaria.

Elizabeth

Dedico este proyecto de investigación a mi familia quienes siempre me han demostrado su apoyo, los cuales son mi motivo para querer mejorar cada día, agradezco su confianza para lograr mis propósitos en el ámbito estudiantil y profesional.

Lisbet

Agradecimiento

Agradecemos en primer lugar a Dios por lograr unos de nuestros objetivos trazados y darnos un día más de vida, A la Universidad de Lambayeque, a nuestra docente Ing. Betty por el apoyo en todo este trayecto universitario al inculcarnos conocimientos y perseverancia para lograr alcanzar lo que anhelamos; a nuestros padres, hermanas, hermanos y a nuestra familia en general por alentarnos con sus consejos y por ser el motivo más grande a todo lo que nos propusimos, por el apoyo y la confianza que nos brindaron desde un principio de nuestros estudios.

Elizabeth & Lisbet

Resumen

La presente investigación, se basó en la problemática con respecto a la contaminación a causa de la presencia de Arsénico (As) en aguas de los pozos que abastece al centro poblado Cruz del Médano, distrito de Mórrope, departamento de Lambayeque, el cual está generando una preocupante contaminación afectando tanto a la población como al ambiente. Es por ello, que el objetivo fue de evaluar la eficiencia de fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para la disminución de las concentraciones de arsénico en aguas del centro poblado Cruz del Médano, para llevar a cabo dicha investigación, la metodología partió de la toma de muestra de agua con arsénico del pozo y la recolección de la especie, para la identificación y comparación de los parámetros físico químicos antes y después de haberse aplicado el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para determinar su eficiencia, se obtuvo como resultado, que la primera muestra dio de Arsénico (As) 0.047 mg/l con los parámetros en pH de 7.25 y con una temperatura de 26.6°C y al ser realizado la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la primera semana que se tomó el análisis dio como resultado de Arsénico (As) 0.031 mg/l con temperatura de 21.40 °C y pH de 7.19, por lo tanto, se logró observar una notable disminución de Arsénico (As) a la segunda semana de la fitorremediación a un 0.019 mg/l con temperatura de 23°C y pH de 7.10. Donde se logró comparar de acuerdo con los datos que se obtuvo de los análisis que se realizaron antes y después, el cual demostró que a medida que se dejó por más semanas el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) alcanzo disminuir el Arsénico (As) de un inicial de 0.047 mg/l a un resultado final de 0.019 mg/l determinándose el 60% de disminución y se mantuvo los parámetros que requería la planta de temperatura y pH.

Palabras claves: Arsénico, fitorremediación, Jacinto de agua.

Abstract

This research was based on the problem with regard to pollution due to the presence of Arsenic (As) in the well waters that supplies the populated center Cruz del Médano, Mórrope district, Lambayeque department, which is generating a worrying pollution affecting both the population and the environment. That is why the objective was to evaluate the efficiency of phytoremediation with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for the reduction of arsenic concentrations in waters of the populated center Cruz del Médano, to carry out such research, the methodology was based on the sampling of water with arsenic from the well and the collection of the species, for the identification and comparison of chemical physical parameters before and after the water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) was applied to determine its efficiency, resulted in the first sample of Arsenic (As) 0.047 mg/l with pH parameters of 7.25 and with a temperature of 26.60 °C and since the phytoremediation was performed with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in the first week the test was taken resulted in arsenic (As) 0.031 mg/l with temperature 21.40 °C and pH of 7.19, therefore, a marked decrease in arsenic (As) was observed at the second week of phytoremediation at 0.019 mg/l with temperature of 23 °C and pH of 7.10. Where it was possible to compare according to the data obtained from the analyses that were performed before and after, which showed that as water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) was left for more weeks, it was able to decrease arsenic (As) from an initial of 0.047 mg/l to a final result of 0.019 mg/l determining 60% decrease and maintaining the parameters required by the plant of temperature and pH.

Keywords: Arsenic, phytoremediation, water hyacinth.

Índice

| | |
|--|----|
| Resumen..... | V |
| Abstract..... | VI |
| I. Introducción..... | 1 |
| II. Marco teórico..... | 2 |
| 2.1. Antecedentes bibliográficos | 2 |
| 2.1.1. A nivel internacional. | 2 |
| 2.1.2. A nivel nacional..... | 3 |
| 2.1.3. A nivel local. | 5 |
| 2.2. Bases teóricas | 5 |
| 2.2.1. Agua. | 5 |
| 2.2.1.1. Agua para consumo humano. | 5 |
| 2.2.1.2. Importancia del agua. | 6 |
| 2.2.1.3. Contaminación del agua. | 6 |
| 2.2.1.4. Estándares de Calidad Ambiental para Agua Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.... | 6 |
| 2.2.2. Los metales pesados. | 7 |
| 2.2.2.1. Arsénico..... | 7 |
| 2.2.3. Fitorremediación..... | 8 |
| 2.2.3.1. Tipos de fitorremediación..... | 8 |
| 2.2.3.2. Ventajas de la fitorremediación..... | 9 |
| 2.2.4. Plantas acuáticas..... | 10 |
| 2.2.4.1. Tipo de plantas acuáticas..... | 10 |
| 2.2.4.1.1. plantas emergentes..... | 10 |
| 2.2.4.1.2. plantas flotantes | 10 |
| 2.2.4.1.3. sumergidas | 11 |
| 2.2.5. Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)..... | 11 |
| 2.2.5.1. Descripción..... | 11 |
| 2.2.5.2. Las condiciones para su crecimiento. | 11 |
| 2.2.5.3. Morfología..... | 11 |
| 2.2.5.4. Propiedades..... | 12 |
| 2.2.5.5. Características físicas químicas..... | 13 |
| 2.2.5.6. Usos del Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) | 13 |
| 2.3. Definición de términos básicos | 14 |
| 2.3.1. Eficiencia..... | 14 |
| 2.3.2. Arsénico..... | 14 |
| 2.3.3. Fitorremediación..... | 15 |
| 2.3.4. Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)..... | 15 |

| | |
|---|----|
| 2.4. Hipótesis | 15 |
| III. Materiales y métodos..... | 15 |
| 3.1. Variables y operacionalización de variables | 15 |
| 3.1.1. Variables..... | 15 |
| 3.1.2. Operacionalización..... | 16 |
| 3.2. Tipo de estudio y diseño de investigación..... | 17 |
| 3.2.1. Tipo de estudio | 17 |
| 3.2.2. Diseño de investigación..... | 17 |
| 3.3. Población y muestra de estudio | 17 |
| 3.3.1. Población..... | 17 |
| 3.3.2. Muestra..... | 17 |
| 3.3.3. Muestreo..... | 17 |
| 3.4. Métodos, técnica e instrumentos de recolección de datos | 17 |
| 3.4.1. Métodos..... | 17 |
| 3.4.1.1. Descripción de etapas..... | 17 |
| 3.4.3. Técnicas..... | 19 |
| 3.4.3.1. Técnica de muestreo..... | 19 |
| 3.4.3.2. Técnica de laboratorio..... | 19 |
| 3.4.4. Instrumentos y equipos..... | 19 |
| 3.4.4.1. Instrumentos..... | 19 |
| 3.4.4.2. Materiales..... | 19 |
| 3.4.4.3. Análisis de laboratorio..... | 19 |
| 3.5. Procesamiento de datos y análisis estadístico | 19 |
| IV. Resultados..... | 20 |
| 4.1. Identificar los parámetros físico químicos de las aguas del centro poblado Cruz del Médano antes de aplicar la fitorremediación con Jacinto del agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). ... | 20 |
| 4.2. Identificar los parámetros físico químicos de las aguas del centro poblado Cruz del Médano después de aplicar la fitorremediación con Jacinto del agua (<i>Eichhornia crassipes</i>).21 | 21 |
| 4.3. Comparar los niveles de arsénico de las aguas del centro poblado Cruz del Médano antes y después de la fitorremediación con Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>), para determinar su eficiencia. | 22 |
| V. Discusión | 23 |
| VI. Conclusiones..... | 25 |
| VII. Recomendaciones | 26 |
| VIII. Referencias bibliográficas | 27 |
| ANEXOS | 31 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación del Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 13 |
| Tabla 2. Composición del Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 13 |
| Tabla 3. Usos del Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 13 |
| Tabla 4. Operacionalización. | 16 |
| Tabla 5. Coordenadas UTM..... | 18 |
| Tabla 6. Parámetros iniciales del agua de pozo del distrito de Mórrope. | 20 |
| Tabla 7. Parámetros después de aplicar la fitorremediación..... | 21 |
| Tabla 8. Comparación de los parámetros..... | 22 |
| Tabla 9. Presupuesto. | 23 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Tipos de fitorremediación..... | 9 |
| Figura 2. Parámetros iniciales del agua de pozo del distrito de Mórrope..... | 20 |
| Figura 3. Parámetros después de aplicar la fitorremediación. | 21 |
| Figura 4. Comparación de los parámetros | 22 |
| Figura 5. Extracción del Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)..... | 31 |
| Figura 6. Lugar donde se obtuvo el Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>), Dren ubicado en Lambayeque..... | 32 |
| Figura 7. Lavado del Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 32 |
| Figura 8. Pesado del Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)..... | 33 |
| Figura 9. Las 10 plantas de Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) que se colocaron en el recipiente con el contenido del agua de pozo. | 33 |
| Figura 10. Reposo del Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 34 |
| Figura 11. Recolección de agua de pozo del centro poblado Cruz del Médano-Mórrope..... | 35 |
| Figura 12. Llenado de frasco para muestra 01. | 36 |
| Figura 13. Medición de la temperatura del agua sacada del pozo. | 37 |
| Figura 14. Medición de pH in situ. | 38 |
| Figura 15. Llenado del recipiente con 15 litros del agua con arsénico..... | 39 |
| Figura 16. Lavado con agua destilada al Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 39 |
| Figura 17. Recipiente de fitorremediación con Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) para el agua de pozo del centro poblado Cruz del Médano-Mórrope a escala de laboratorio..... | 40 |
| Figura 18. Monitoreo del pH del agua de pozo con Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 41 |
| Figura 19. Monitoreo de la temperatura del agua de pozo con Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 42 |
| Figura 20. Toma de la segunda muestra. | 43 |
| Figura 21. Segunda muestra con tratamiento con Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) almacenada para su respectivo análisis..... | 44 |
| Figura 22A y 22B. Características del Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) durante el tratamiento. | 45 |
| Figura 23. Monitoreo de temperatura del agua con tratamiento con Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 46 |
| Figura 24A y 24B. Monitoreo de los parámetros ph y temperatura de la muestra con tratamiento. | 47 |
| Figura 25. Medición de temperatura del tercer tratamiento de con Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 48 |
| Figura 26. Muestra del tercer tratamiento del agua de pozo con Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>). | 49 |
| Figura 27. Entrega de muestra para analizar al encargado del laboratorio de Epsel. | 50 |
| Figura 28. Resultados de análisis de Muestra de agua de pozo. | 51 |

| | |
|---|----|
| Figura 29. Resultado del primer ensayo (Arsénico) sin tratamiento. | 52 |
| Figura 10. Resultado del segundo ensayo (Arsénico) con tratamiento..... | 53 |
| Figura 31. Resultado del tercer ensayo (Arsénico) con tratamiento..... | 54 |

I. Introducción

En la actualidad, la problemática que se está presentando en el centro poblado Cruz del Médano, distrito de Mórrope, departamento de Lambayeque es la contaminación de aguas subterráneas por la presencia de Arsénico (As), las cuales son extraídas mediante pozos para el consumo y actividades de la población. Por lo cual, ha sido demostrado científicamente que el arsénico se dispersa en el ambiente por la lixiviación de rocas y procesos geoquímicos naturales (generados por actividades de minería) afectando al agua subterránea y superficial. (Alarcón, T. et al 2014). Si bien, el arsénico es un elemento natural presente en la corteza terrestre; que se distribuye por el aire, el agua y el suelo, lo cual al ser expuestas al ambiente en altos niveles no solo altera su calidad, causa degradación y muerte de los seres biológicos e inclusive afectación de forma directa a la población. (Garay, 2017)

Debido a la presencia de arsénico en las aguas de los pozos que abastecen a los pobladores del cual muchas veces son utilizadas para sus actividades, se han realizado evaluaciones por parte del INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico) en las aguas de Mórrope que confirman que el As presente alcanza los 0.1 miligramos. Según el reglamento de calidad de agua para consumo humano (D.S 031-2010) dado en el Perú y la Organización Mundial de la Salud (OMS), indican que la concentración de Arsénico en el agua sea de 0,01 mg/l. Frente a lo acontecido en el centro poblado Cruz del Médano, se vio la necesidad de realizar este presente trabajo de investigación utilizando planta acuática (*Eichhornia crassipes*) como un tratamiento alternativo natural para extraer este elemento del agua, ya que según investigaciones se han ido demostrando la eficiencia de remoción de metales. Por lo cual, se hace está presente investigación para beneficio al ambiente y la población, siendo la formulación del problema ¿Será posible utilizar la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir las concentraciones de arsénico en las aguas del centro poblado Cruz del Médano- Morrópe-2019? y teniendo como objetivo evaluar la eficiencia de fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir las concentraciones de arsénico en aguas del centro poblado Cruz del Médano. Por lo que se consideró los siguientes objetivos específicos identificar los parámetros físico químicos de las aguas del centro poblado Cruz del Médano antes de aplicar la fitorremediación con Jacinto del agua (*Eichhornia crassipes*), identificar los parámetros físico químicos de las aguas del centro poblado Cruz del Médano después de aplicar la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y comparar los niveles de arsénico de las aguas del centro poblado Cruz

del Médano antes y después de la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), para determinar su eficiencia.

La justificación del estudio ha tomado de manera personal lo relacionado con las actividades que se desarrollan en la vida diaria con respecto al uso del agua, ya que es el líquido indispensable para el desarrollo de todo ser humano. Es por ello, entre uno de los problemas que se ha estado produciendo es el creciente aumento de arsénico en aguas para el consumo y actividades del ser humano que está afectando en el Distrito de Mórrope; en lo social, con referencia a las investigaciones que se han dado por parte de algunas instituciones que dan veracidad de las altas concentraciones de arsénico que se encuentran presentes en las aguas del centro poblado Cruz del Médano. Esta investigación busco ofrecer una alternativa de tratamiento natural mediante fitorremediación para lograr una mejora social y ambiental; de lo cual en manera científica en el caso de las macrófitas que se utilizan en la fitorremediación son plantas acuáticas diseminadas por toda la tierra, presentes en ambientes de agua dulce. Estas especies realizan todo su ciclo de vida como plantas flotantes, solo el sistema de raíces está totalmente sumergido; eliminan metales del agua, causando una concentración interna más alta en las capas que el medio ambiente y muestran la gran capacidad de acumulación de metales que las plantas terrestres no hiperacumuladoras. Su gran biomasa, su óptima eficiencia de eliminación, su sistema de fibra de raíz y su alta tolerancia a los metales los convierten en una excelente opción para el proceso de fitorremediación. (Mishra, 2008 citado por Sandoval 2019). En tanto, en este presente trabajo de investigación se buscó reducir la concentración de arsénico a nivel de laboratorio donde se utilizó plantas acuáticas donde se tomó como opción al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). La cual, está compuesta por raíces, que tienen en algunos casos microorganismos adherido a ella que beneficia la actividad depuradora de la planta y a la vez son capaces de almacenar en su epitelio una mayor diversidad de metales pesados (cadmio, mercurio y arsénico específicamente). (Poma, 2014).

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes bibliográficos

2.1.1. A nivel internacional.

Según Carreño, U. y Granada, C. (2016) en su artículo de investigación, planteó como objetivo principal de diseñar, desarrollar y evaluar una nueva tecnología de tratamiento donde *Eichhornia* logre remover el cromo para aportar nuevas tecnologías para la industria del curtido. La metodología empleada fue aislar *Eichhornia crassipes* de un humedal en las afueras de Bogotá, donde al experimento se le agrego 11.5 lt de agua. Este proyecto es una escala piloto

de laboratorio y contenía 180 gr de *Eichhornia crassipes*, que es correspondiente a dos plantas. La evaluación radicó en 24 días, se depositaron 11,5 litros de agua que contenían 612 mg/l de cromo y 1000-1200 mg/l de DBO en el recipiente, los análisis se realizaron por espectrofotometría. Las concentraciones de agua de cromo se midieron en mg/L al inicio del estudio y posteriormente cada dos días, concluyeron que solo dos días después hubo una eliminación del 33%. Las remociones disminuyeron de manera constante, estableciéndose al tiempo de 24 días de tratamiento con un 70% de remoción. En cuanto a la DBO, logró una eliminación del 80% al 83%.

Logro demostrar que *Eichhornia crassipes* es la especie de retención de metales pesados y materia orgánica dándose como una posibilidad de solución económica y tecnológicamente factible para la industria del curtido.

Así mismo Andrade, K. (2015) en su tesis en el estudio de laboratorio se obtuvo el agua de descarga por encima de los límites permisibles que afecta negativamente a la auto limpieza, en el proceso de fitorremediación se utilizó un prototipo a pequeña escala donde se usaron aguas residuales domésticas, tratamiento con *Eichhornia crassipes Mart.* (Jacinto de agua), *Pistia stratiotes L.* (Lechuga de agua). En el proceso de fitorremediación realizado con *Eichhornia crassipes Mart.*, donde logro una reducción de los parámetros de la siguiente manera: sólidos totales iniciales 825.85 mg/L, 396.0 mg/L final, Demanda química inicial de oxígeno 38, 41 mg/L, 96.16 mg / L final , demanda inicial de oxígeno bioquímico 124.0 mg/l, final 31.0 mg/l, fósforo inicial 12.86 mg/l, final 2.72 mg/l, La eficiencia de las plantas como agente de limpieza se determina mediante un estudio bromológico para demostrar si es eficiente el uso de este tipo de plantas para la purificación de aguas residuales domésticas.

2.1.2. A nivel nacional.

Por otra parte Garay, I. (2017) en su tesis para delinear el desarrollo del estudio, se construyeron 3 contenedores de peces con las medidas: ancho 20 cm, largo 39 cm y alto 19 cm, se sacó una muestra de 30 lt de agua de la laguna. En cada contenedor de peces, se codificaron de la posterior manera; M1 (Jacinto de agua), M2 (lente de agua) y M3 (Jacinto y Lenteja de Agua) .Se colocaron 10 lt de estas aguas, a la vez, en M1 se sumergieron 7 Jacinto de agua, en M2 30 g de Lenteja de agua y en M3 3 Jacinto de agua y se colocaron 15 gr de lenteja con una permanencia de tres semanas de muestreo. La concentración primera de boro (B) fue > 25 mg / l, lo que demuestra que sobrepasa los estándares de calidad ambiental (ECA). Se concluyó que en el tratamiento de M1 era posible reducir a 6.88 mg/l en M2; 26,93 mg/l y en M3; 27,41 mg/l, en una duración de 3 semanas.

Por otra parte Sandoval, J. (2019): su tesis parte de la hipótesis de que las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor L.* logran una eficiencia superior al 70% en la eliminación de cadmio para el tratamiento de aguas residuales industriales como primer paso para aceptar esa hipótesis, se plantean el objetivo de la evaluación de la efectividad de las especies *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Lemna minor L.* (lenteja de agua) en la eliminación de cadmio en aguas residuales industriales para determinar cuál de las dos especies utilizadas logra ser de mejor elección. Se utilizaron dos modelos piloto y agua simulada con una concentración de 2 mg / l de cadmio siendo como escenario el laboratorio para evaluar la efectividad de los macrófitas. El primer modelo consistió en *Eichhornia crassipes* y el segundo modelo consistió en *Lemna minor L.* El agua simulada permaneció en un tiempo de (11) días de prueba y se analizó cada dos (02) días, lo que resultó en valores de parámetros físicos de: pH, conductividad eléctrica, temperatura y concentración de cadmio.

A partir de las evaluaciones y los resultados, se obtiene claramente que *Eichhornia crassipes* tiene una eficiencia del 83.57%, mientras que *Lemna minor L.* tiene una eficiencia del 39.35%, en tanto, en el tratamiento se presentaron cambios morfológicos con respecto al cambio de color de las especies.

Además, Julón, P. (2019) hace referencia en su tesis donde realizó un filtro ecológico de biomasa seca de Jacinto de agua siendo comparada con un filtro de arena, donde manifiesta que el Jacinto de agua es más eficiente en remoción de sólidos totales en un promedio 51.035% que el del filtro de arena que solo obtuvo una remoción en un 36.5%, debido a que el *Eichhornia crassipes* al convertirse en un bio filtro activa sus poros que logra formar orificios en su morfología permitiendo la retención de material particulado, además el autor nos describe que es usado para la absorción de metales pesados debido a sus particularidades morfológicas. Evidenciando que con un filtro de Jacinto de agua la retención de sólidos totales es mejor en 14.35 % que de un filtro de arena.

En tanto Ita, D. (2017) en su estudio se llevó a cabo la determinación de la capacidad de absorción de fosfato presentada por el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para mejorar la calidad del agua de Pantano Villa. Se extrajeron 42 lt de agua de 3 estaciones separadas a 50 m cada una y se analizaron los parámetros en el propio lugar para compararla con los estándares actuales de calidad ambiental. El agua sacada de cada estación se vació en 3 contenedores y se colocó una especie del Jacinto de agua dentro de los contenedores. Usando el método de espectrofotometría UV-visible con ácido vanadomolibofosfórico, se analizaron las

concentraciones de fosfato inicial y final en el agua sacada. El agua tratada tuvo una reducción de fosfatos y tuvo los resultados finales: 0.035 mg/l, 0.031 mg/l y 0.029 mg/l. Se dedujo como elección el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir concentraciones de nitratos y fosfatos, y evitar así la eutrofización.

2.1.3. A nivel local.

Al respecto el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) (2018) en su informe técnico tuvo como resultados químicos, elevadas concentraciones de As, superiores a la categoría 1 de ECA - subcategoría A1, que tienen una composición química enriquecida, lo que señala que corresponden a un flujo medio a regional, describen que las aguas tienen una buena trayectoria y estancia en acuíferos. Las capas que conforman el sistema acuífero tienen diferentes propiedades fisicoquímicas que tienen un sistema multicapa, en el cual, se puede percibir evaporitas, yeso y arcilla que, por su naturaleza contienen As, dando este componente al agua contaminada.

Según Fiestas, M. y Millones, A. (2019) en su tesis determinó el efecto de la concentración y el tiempo de contacto en la eliminación de arsénico. Se seleccionaron dieciocho muestras del agua de pozo de Mórrope (Cruz del Médano - Lambayeque) y se realizó un análisis del contenido de arsénico antes y después del tratamiento utilizando el método de espectrofotometría UV de azul de molibdeno, tres concentraciones de carbón activado de cáscara de coco: 2, 4, 6 g/l y tres tiempos de contacto: 1, 2 y 3 horas con dos repeticiones por tratamiento y luego filtradas. El filtrado obtenido se sometió a un análisis de contenido de arsénico utilizando el método del molibdeno azul, y concluyó que, de los dos factores estudiados, la concentración de carbón activado en comparación con el tiempo afectó significativamente la eliminación de arsénico, que presentó el porcentaje de eliminación 72% mayor (6 g/l 3 horas), ya que la concentración de arsénico fue inicialmente de 0.11 mg/L y finalmente de 0.0297 mg/L.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua.

El agua es el solvente universal. Siendo la propiedad más importante para la vida, debido a su polaridad y capacidad para formar enlaces de hidrógeno con solutos. (Pastuña, 2015).

2.2.1.1. Agua para consumo humano.

El agua dirigida para el consumo de la población debe contar con las características físicas, químicas y microbiológicas, previniendo el peligro para la salud. Las características

para su consumo deben ser cristalina, sin sabor, y no presencia de sólidos suspendidos (Ministerio de Salud, 2016).

2.2.1.2.Importancia del agua.

El agua se ha convertido en una fuente de preocupación para todas las instituciones que buscan proteger este recurso de la acción de los que contaminan el fluido vital. Con el tiempo, el hombre considera que el agua se usara, de acuerdo con las actividades, sin ninguna restricción, pero su uso inapropiado ha llevado a su deterioro gradual. El uso racional del agua es crucial para las regiones con falta de líquido (Pastuña, 2015).

2.2.1.3.Contaminación del agua.

El agua es contaminada por sustancias tóxicas y vertimientos en (río, mar, cuenca, etc.) alterando las propiedades del agua.

Sus características físicas- químicas del agua al sufrir excesos de contaminación, logran causar afectación a la salud del ser humano y al entorno. Su vigilancia y cumplimiento legal le compete a la autoridad encargada. (MINAM, 2016)

El recurso hídrico está siendo alterado su composición en su mayoría por las actividades antropogénicos incorporando sustancias o materiales afectando su calidad, determinándose como no beneficioso para los seres bióticos y el consumo humano. Si bien, los agentes químicos están siendo de mayor problema al llegar a introducirse en el agua, generando grave contaminación al sobrepasar los ECA.

2.2.1.4.Estándares de Calidad Ambiental para Agua Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

El Estándar de Calidad Ambiental es legalmente “la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente”. De manera específica y conforme se señala líneas adelante, el ECA de agua es una unidad de medida para determinar el uso que puede darse a un cuerpo de agua en función a la calidad que presenta, ya sea por sus valores naturales o por la carga contaminante a la que pueda estar expuesta. Un ECA no es un valor de medición para una emisión o efluente. Así, en el caso de una autorización de vertimiento, está autoriza el vertimiento de manera tal que no se exceda el ECA, que está predeterminado en función del uso del agua.

Dicho de otra manera, los ECA para agua están orientados a proteger el ambiente y la salud y establecen objetivos de calidad que deben ser cumplidos por los diversos titulares de

actividades económicas de diversos sectores, y contienen parámetros para determinar el uso que puede darse a un cuerpo de agua.

En el Perú, desde la Ley de Aguas (Decreto Ley N° 17752 de 1969) y luego con la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338 del año 2009); se señala que los ECA de Agua deben fijarse en función a las categorías determinadas en relación al uso que se le va a dar al cuerpo natural de agua.

Asimismo, es importante destacar que los ECA de Agua del Perú se han establecido considerando referentes internacionales. Por ello, la regulación peruana ha empleado, para las aguas destinadas a la producción de agua potable (Categoría 1), preferentemente las actualizaciones de la Organización Mundial para la Salud (OMS); en el caso de aguas para riego de vegetales y bebidas de animales (Categoría 3) se han adoptado las correspondientes a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); así como a la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA). Es necesario precisar además que, estas guías internacionales se actualizan continuamente en función a estudios periódicos de toxicidad. El D.S. N° 015-2015-MINAM que actualiza los ECA para Agua ha considerado las guías más recientes.

2.2.2. Los metales pesados.

En química, "metal pesado" es un elemento químico, algunos tóxicos para los humanos, ya que representan un alto peligro ambiental debido a su uso desmedido, toxicidad y distribución generalizada. No han podido permanecer incluso en el ambiente hasta el punto de representar un gran peligro. Pero, se ha mostrado que su presencia se da a niveles tóxicos según los lugares. Los metales se generan de los compuestos orgánicos tóxicos que en su mayoría indegradables, prevalentes en los sistemas ambientales. Su sumidor: la tierra y sedimentos. (Sandoval, 2019).

2.2.2.1. Arsénico.

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra. En su forma inorgánica es muy tóxico. (Tapia, L. 2017) describe las siguientes características del arsénico:

Compuestos químicos del arsénico

Los estados de oxidación en que el arsénico se encuentra comúnmente en el agua son los estados +5 y +3. El arsenito, o arsénico trivalente (As^{+3}) se encuentra en solución como H_3AsO_3 , $H_2AsO_3^-$, $H_2AsO_4^-$ y H_2AsO_4 en aguas naturales con pH entre 5 a 9, y el arsenato, o arsénico pentavalente (As^{+5}) se encuentra en forma estable en aguas con altos niveles de oxígeno como H_3AsO_4 en un rango de pH de 2 a 13. Su principal vía de dispersión en el

ambiente es el agua. Aun si se considera la sedimentación, la solubilidad de los arsenatos y arsenitos es suficiente para que este elemento se transporte en los sistemas acuáticos.

Arsénico en el agua

El arsénico puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica, siendo esta última la forma en que se haya en las aguas naturales. A su vez presenta cuatro estados de oxidación bajo condiciones normales siendo los más comunes sus estados trivalentes As (III) (arsenitos) y pentavalente As (V) (arsenatos). En aguas superficiales, con condición aeróbicas, está presente el arsénico en estado pentavalente As (V) con pH (4-10) y carga negativa siendo eficiente en remoción, en tanto, en aguas de pozo, en condiciones de anaerobiosis presente en estado trivalente As (III) no presenta carga.

2.2.3. Fitorremediación.

Esta técnica llamado “fitorremediación” realiza la remoción, degradación y neutralización de elementos dañinos. Proviene del griego “phyto” o “planta”, se le denomina FITOLIMPIEZA o FITOCORRECCIÓN, del cual se realizan procesos tanto biológico, químico o físico, donde interviene la planta, desarrollando la absorción, degradación y metabolización de los contaminantes, en situaciones estos procesos lo realizan sus microorganismos que crecen en la rizósfera. (Papuico, 2018)

Las plantas fundamentalmente aspiran contaminantes a medida que se desarrollan y sobreviven. Las variedades de plantas usadas en este método se eligen en función de componentes según: capacidad para extraer o degradar contaminantes, adaptación al clima local, abundancia de biomasa, estructura de profundidad de la raíz, compatibilidad del suelo, tasa de crecimiento, facilidad de mantenimiento y plantación, finalmente la capacidad de aspirar mayores cantidades de agua mediante sus raíces. Este método permite aplicarse a enfoques como aguas superficiales, subterráneas, suelos, lodos y sedimentos. Con lo cual, se explota cada vez más para usos de tratamiento de agua, alcantarillado y cumple un papel significativo en proyectos de infraestructura verde. (Paulson, 2014 citado por Hernández y Luna, 2016)

2.2.3.1. Tipos de fitorremediación.

Hay varios tipos de fitorremediación que se describen a continuación:

- **Fitoextracción:** las plantas se utilizan para concentrar metales en las partes cosechadas (principalmente la parte aérea).
- **Rizofiltración:** las raíces de las plantas se utilizan para adsorber, precipitar y concentrar metales pesados de efluentes líquidos contaminados.

- **Fitoestimulación:** los exudados de la raíz se utilizan para promover el desarrollo de microorganismos degradantes (bacterias y hongos).
- **Fitoestabilización:** las plantas tolerantes a metales se utilizan para reducir su movilidad y evitar el paso del aire.
- **Fitotransformación:** Se divide en:
 - **Fitodegradación:** las plantas acuáticas y terrestres capturan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos no tóxicos o menos tóxicos.
 - **Fitovolatilización:** las plantas capturan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera a través de la transpiración. (Poveda R. 2014)

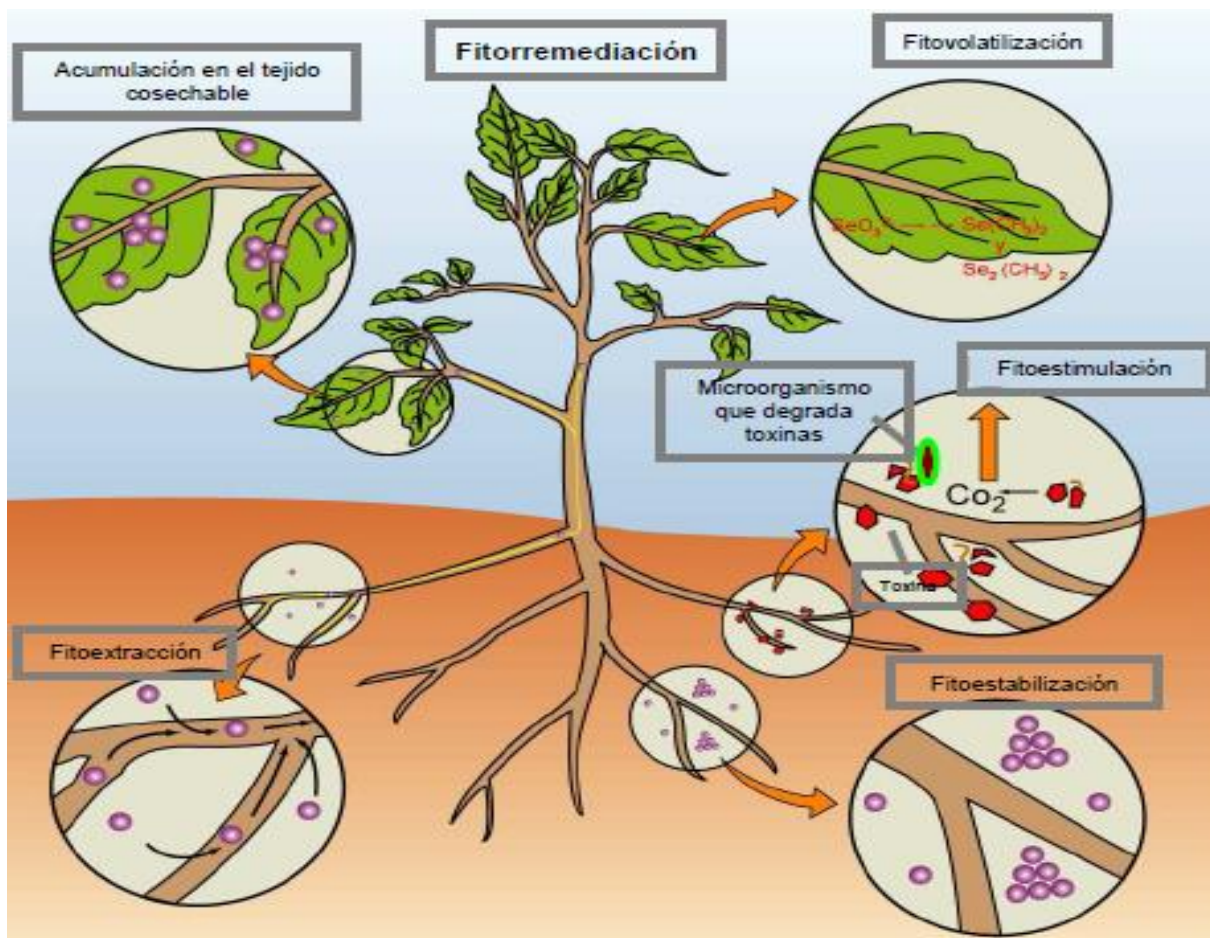


Figura 1. Tipos de fitorremediación

Fuente: Poveda R. 2014

2.2.3.2. Ventajas de la fitorremediación.

- Es eficaz para tratar varios tipos de contaminantes in situ.
- Es aplicable en ambientes con densidades bajas a moderadas.
- Es una técnica sostenible.
- Es de bajo valor, no requiere servicio cualificado para su gestión o consumo de energía.
- Es poco dañino para el medio ambiente.

- No provoca contaminación secundaria y, por lo tanto, no se requieren sitios de eliminación.
- Es muy probable que se aceptado ya que es estéticamente agradable.
- Tiene la versatilidad potencial para tratar una variedad de materiales peligrosos.
- Obvia cavar y tráfico pesado.
- Los recursos pueden ser reciclados (agua, biomasa y metales). (Poma, 2014).

2.2.4. Plantas acuáticas.

Son especies de plantas adaptadas para vivir en ambientes acuáticos. Consisten en un conjunto heterogéneo funcional de plantas de importancia económica en los ecosistemas acuáticos.

Las plantas acuáticas tienen sus estructuras vegetativas (raíces, tallos y hojas) flotantes o sumergidas en el agua.

Factores como el clima, las condiciones geológicas, el agua y la topografía son esenciales para determinar la distribución de macrófitas. La colonización de varios ecosistemas acuáticos, está sujeta a la abundancia de rizomas, de su desarrollo y mecanismos de dispersión.

De la gran variedad de plantas acuáticas, destacan la lechuga (*Pistia stratiotes*), el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la salvinia (*Salvinia Spp.*). Del mismo modo, la ronda de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) y ciertas especies de lentejas acuáticas (*Spirodella Spp.* y *Lemna Spp.*). (Vásquez, J. 2018).

2.2.4.1. Tipo de plantas acuáticas.

Según sus estilos de vida, las plantas usadas en el método de fitorremediación acuática se clasifican en tres grupos: (Poma, 2014).

2.2.4.1.1. plantas emergentes

La raíz de estas plantas está enterrada en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie de agua. Sus estructuras reproductoras están en la porción aérea de la planta. Ejemplos: carrizo (*Phragmites communis*), platanillo (*Sagittaria latifolia*) y tute (*Thypha dminguensis*).

2.2.4.1.2. plantas flotantes

Se subdividen en dos grupos:

Plantas de libre flotación (no fijas): Sus tallos y hojas se desarrollan sobre la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están fijas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua. Sus estructuras vegetativas y reproductivas se mantienen emergentes. Ejemplos: lirio acuático *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), lenteja de agua (*Lemna spp.* y *Salvinia mfnima*).

Plantas de hoja flotante (fijas): Tienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua, pero sus raíces están fijadas en los sedimentos. Ejemplo: nenúfares (*Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*).

2.2.4.1.3. *sumergidas*

Se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergidas. Sus órganos reproductores pueden presentarse sumergidos, emerger o quedar por encima de la superficie de agua. Ejemplos: bejuquillo (*Ceratophyllum demersum*), hidrilla o maleza (*Hydrilla verticillata*) y pastos (*Phyllospadix torreyi*).

2.2.5. **Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).**

2.2.5.1. **Descripción.**

El Jacinto de agua vive en aguas estancadas (lagos, lagunas, estanques), aunque se encuentra en agua fluida donde se reduce el flujo de agua (ríos, canales, zanjas de drenaje, etc.). (Ramil, P; et al, 2014). La *Eichhornia crassipes*, conocido por: flor de Bora, oreja de ratón, camalote, Jacinto de agua, taropé o tarulla. Su reproducción se origina por estolones que desarrollan nuevas plántulas. Esta especie carece de tallo, pero cuenta con un rizoma que le permite flotar y en el cual se encuentra un rosetón de hojas que cuenta con una zona esponjosa en forma de globo que cumple la función como una vejiga rellena de aire, que le permite emergerse en la zona hídrica, el limbo se precisa en la zona media. Se caracteriza por su color verde radiante negro con hojas en forma de corazón. Sus raíces se presentan de color marrón azulado siendo atractivas para microorganismos. (Ávila y Castillo, 2000 citado por Perales. J, 2015).

2.2.5.2. **Las condiciones para su crecimiento.**

Se enmarca las condiciones para su debido crecimiento de la *Eichhornia crassipes* (Ramil, P; et al, 2014)

- Clima: Están marcados principalmente por aspectos climáticos, ya que es una especie muy sensible a los inviernos fríos y las bajas temperaturas.

-Temperatura: Su crecimiento se fija en zonas con T° medias entre 18 y 30 °C, con óptimas entre 22 y 25 °C, perdiéndose en zonas con demasiado frío en invierno, con heladas concurrentes o en zonas donde suele producirse la congelación de ambientes acuáticos.

-Agua: Otro factor que controla su distribución es la calidad del agua, optando por medios ricos en nutrientes (eutróficos o mesotróficos), pH neutro o básico. Son especies intolerantes a las aguas marinas, sin embargo, logran colonizar estuarios con baja salinidad.

2.2.5.3. **Morfología.**

La macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) es una planta acuática emergente conocida por su capacidad para producir y eliminar contaminantes del agua. El Jacinto de agua se desarrolla en una extensa diversidad de tipos de humedales y prefiere aguas ricas en nutrientes. Aunque, pueden resistir cambios notables en los niveles de nutrientes, T° y pH. (Poma, 2014).

Las hojas tienen pecíolos largos y circulares o más anchos que las placas largas, 2.5-16 cm de largo y 3-12 cm de ancho. En las hojas sumergidas, el pecíolo es largo y cilíndrico, mientras que en las carrozas es más corto e hinchado, lo que permite la emerger la planta. Desde los nodos en la parte inferior del tronco, un grupo de raíces negro-marrón que alcanzan los 150 cm de largo. (Ramil, P; et al, 2014).

Es una planta emergente hidrofílica libre que corresponde a la familia Pontederiaceae (Sandoval. J, 2019). El Jacinto de agua o camalote, denominado por los aborígenes guaraníes como aguapé o aguapey, es una planta acuática monocotiledónea oriundo de América del Sur, precisa en las cuencas del río Amazonas y La Plata. (Ramil, P; et al, 2014).

2.2.5.4. Propiedades.

Esta planta recibe del agua variedad de nutrientes necesarios para su metabolismo, con nitrógeno y fósforo adjunto con iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato. Tienen un sistema de raíces, que posee microorganismos asociados con aquellos que benefician la acción purificadora de las plantas de purificación de agua, guardan en sus tejidos metales pesados (cadmio, mercurio, arsénico). También elimina ciertos compuestos orgánicos, como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y reduce los niveles de DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno) y sólidos en suspensión. Es una de las plantas de más veloz desarrollo y duplicación primordialmente por el estolón que forma nuevas plantas, así como por las semillas. Asimismo, se observa que el Jacinto de agua mejora la nitrificación en aguas residuales tratadas con células de tecnología viva. Sus zonas de raíz son magníficos micro sitios de comunidades bacterianas. Elimina toxinas, como cianidas, una técnica que tiene un impacto ambiental en áreas que han sido objeto de extracción de oro. Fluyen apoyados por tocones esponjosos, con raíces que fluyen de manera libre. En tanto, el 50% de la biomasa de aguapé puede consistir en raíces fibrosas, colores violetas o azulados gracias a la antocianina que abarca como protección contra los predadores. Tienen 3 m de largo, con radicales laterales grandes que le dan una apariencia elástica. La planta es muy tolerante y tiene gran capacidad para capturar metales pesados, como Cd, Cr, Co, Ni, Pb, Hg, etc., por lo que podría usarse para biolimpieza aguas residuales industriales. (Metcalf y Edyy, 2004 citado por Vargas. 2017)

Tabla 1.*Clasificación del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes).*

| | |
|-----------------|-----------------------------|
| Reino | Plantae |
| División | Magnoliophyta |
| Clase | Liliopsida |
| Orden | Commelinales |
| Familia | Pontederiaceae |
| Género | <i>Eichhornia</i> |
| Especie | <i>Eichhornia crassipes</i> |

Fuente: Eficiencia del Jacinto de agua *Eichhornia crassipes* y lenteja de agua *Lemna minor l.* en la remoción de cadmio en aguas residuales. (Sandoval, 2019).

2.2.5.5. Características físicas químicas.

El Jacinto de agua tiene un alto contenido de agua entre 93 y 95%. Esta composición varía dependiendo del medio en el cual crezca la planta. Cuando hay escasez de elementos fertilizantes, se inhibe el crecimiento de la planta. Por el contrario, en abundancia de nutrientes, la planta se desarrolla a su máximo límite, adquiriendo un intenso color azul-verdoso, (Cortés, P; Flores, J. 2017).

Tabla 2.*Composición del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes).*

| Componentes | Composición (%) |
|--------------------|------------------------|
| 1 Lignina | 10 |
| 2 Celulosa | 25 |
| 3 Hemicelulosa | 35 |
| 4 Ceniza | 20 |
| 5 Nitrógeno | 0.3 |

Fuente. Cortés, P; Flores, J. (2017)

2.2.5.6. Usos del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)

Los intereses de la humanidad pueden ser salvaguardados solamente por medio de la búsqueda de medidas a largo plazo para el control del Jacinto de agua, en lugar de su utilización (Castillo, 2013 citado por Mendieta. E y Zambrano. B. 2019).

Tabla 3.*Usos del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes).*

| Empleo | País de referencia | Generalidades |
|---------------|---------------------------|----------------------|
|---------------|---------------------------|----------------------|

| | | |
|---|--|--|
| Protección de peces piscícolas | de Nigeria en | Se utiliza de modo controlada en reservorios de cría de peces para protegerlos del sol y depredadores |
| Sustrato de deposición de huevos | para Nigeria de | Se maneja de manera controlada en reservorios de cría de peces ornamentales para su desove de huevos. |
| Tratamiento biológico de aguas residuales | Nigeria, Ecuador, India, China, etc. | El JA es un bio acumulador que ha demostrado retener sustancias tóxicas y metales pesados, esta propiedad se le atribuye a su gran capacidad de absorber nutrientes. |
| Generación de Biogás | Nigeria, Alemania, EEUU, Ecuador, India, China, etc. | A través de la biodigestión anaerobia se genera biogás para generación eléctrica o de energía térmica. |
| Producción de papel | Nigeria, Chile, etc. | Su celulosa se emplea en la producción de pulpa de papel. |

Fuente: Castillo 2013 citado por Mendieta y Zambrano 2019

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Eficiencia.

Es la capacidad de disponer algo o alguien para lograr un cierto efecto mediante el uso apropiado de los recursos o realizándose en el menor tiempo posible (Real Academia Española, 2019).

2.3.2. Arsénico.

El arsénico es un elemento que se distribuye por todo el ambiente. Sus compuestos están esencialmente en un estado de oxidación pentavalente y trivalente; y en formas inorgánicas y orgánicas. Las especies de arsénico varían en su toxicidad porque son compuestos inorgánicos más tóxicos que los orgánicos y los compuestos trivalentes son más tóxicos que los pentavalentes. El arsénico es un carcinógeno y causa varios efectos negativos en la salud humana a corto y largo plazo. La exposición no ocupacional al arsénico ocurre principalmente a través del agua y los alimentos. La normativa es variable para cada país, y se basa en los estándares de la OMS, Codex Alimentarius y la Unión Europea. (Medina, M; et al. 2018)

El arsénico es un contaminante químico que se encuentra comúnmente en el ambiente, es imperceptible y se expande con facilidad en el agua, el aire y el suelo. (Campodónico, M 2019).

El arsénico está presente en el ambiente en los factores: aire, rocas, suelos, minerales, cuerpos de agua y organismos de manera orgánica e inorgánica. Según investigaciones, el As se moviliza rápido de maneras naturales. Siendo el individuo el responsable de la movilización y generación de este metal tóxico, de lo cual es por actividades que realiza como: la minería, utilización de combustibles fósiles, pesticidas orgánicos y herbicidas. Por lo tanto, el arsénico presente en ambiente ha estado causando graves problemas globales. (Rangel, A. et al. 2015).

2.3.3. Fitorremediación.

El término fitorremediación hace referencia al uso de plantas, y de su microbiota asociada para reparar suelos o agua subterráneas contaminadas, Las técnicas de fitorremediación incluyen la utilización de enmiendas de suelo y técnicas agrónomas para trasladar, contener o convertir los contaminantes del medio en una forma que disminuya su disponibilidad química o biológica. (Poma, 2014).

2.3.4. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

El Jacinto de agua también conocido como lirio de agua, lechugín o camalote, es una planta perenne, vascular de flotación libre y sus raíces son fáciles de sumergir, pertenecientes a climas cálidos y fríos, sus flores son de color azulado y lila. Se encuentra en el octavo puesto con un crecimiento más rápido a nivel mundial, logrando extenderse y sobrevivir en muchos sitios. Su tamaño puede llegar a duplicarse en 10 días, y durante 8 meses de un normal crecimiento, pueden llegar a medir entre 0.5 a 1.5 metros desde la parte superior hasta la raíz (Jaramillo & Flores, 2012, citado por Garay I, 2017).

2.4. Hipótesis

Ha: Si se utiliza eficientemente la fitorremediación con Jacinto de agua entonces disminuirá las concentraciones de arsénico en las aguas del centro poblado Cruz del Médano-Morrope-2019.

Ho: Si se utiliza eficientemente la fitorremediación con Jacinto de agua entonces no disminuirá las concentraciones de arsénico en las aguas del centro poblado Cruz del Médano-Morrope-2019.

III. Materiales y métodos

3.1. Variables y operacionalización de variables

3.1.1. Variables.

VI: Eficiencia de fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

VD: Disminuir las concentraciones de arsénico en aguas.

3.1.2. Operacionalización.

Tabla 4.

Operacionalización.

| Variable(s) | Definición conceptual | Dimensiones | Indicadores | Técnicas | Escala de Medición |
|---|--|--|---|--|--------------------|
| Variable Independiente Eficiencia de fitorremediación con Jacinto de agua <i>(Eichhornia crassipes)</i> . | El término fitorremediación hace referencia al uso de plantas, y de su microbiota asociada para reparar suelos o agua subterráneas contaminadas, Las técnicas de fitorremediación incluyen la utilización de enmiendas de suelo y técnicas agrónomas para trasladar, contener o convertir los contaminantes del medio en una forma que disminuya su disponibilidad química o biológica. (Poma 2014). | Características del Jacinto de agua <i>(Eichhornia crassipes)</i> . | - Color de las hojas - Crecimiento de la especie | - Observación | Razón |
| Variable Dependiente Disminuir las concentraciones de arsénico en aguas. | Hacer más pequeño', 'transformar en algo de menor importancia o valor', 'limitar o ceñir a algo'. (Real Academia Española, 2019) | Análisis físico químicos Remoción de Arsénico | - pH - Temperatura - mg/L de arsénico inicial y final con Jacinto de agua | - Observación - Análisis con el Peachimetro - Medición con termómetro digital - Análisis con Espectrómetro de absorción atómica | mg/L |

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Tipo de estudio y diseño de investigación

3.2.1. Tipo de estudio.

Esta investigación que se realizó fue de estudio experimental en la cual el investigador manipuló las variables de estudio para su mayor control, el cual consistió en realizar un cambio en la variable independiente y observar el efecto en la variable dependiente. Es por ello, que este diseño estuvo constituido por las aguas del centro poblado Cruz del Médano con concentraciones de arsénico en el cual se realizó un pre análisis y se aplicó la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) posteriormente a esto se realizó un post análisis.

3.2.2. Diseño de investigación.

- Cuantitativo, porque se midieron las variables antes y después del tratamiento.
- Experimental, porque se evaluaron los parámetros de las aguas del centro poblado Cruz del Médano.
- Aplicada, porque se puso en intervención a la especie.

3.3. Población y muestra de estudio

3.3.1. Población.

El agua de pozo del centro poblado Cruz del Médano – Mórrope el cual tiene un volumen de 0.9 m³.

3.3.2. Muestra.

La muestra para este estudio fue la cantidad de (0.015 m³) de agua tomada del pozo del centro poblado Cruz del Médano para el respectivo tratamiento.

3.3.3. Muestreo.

El muestreo de la presente investigación es de tipo Probabilístico o aleatorio – Al azar simple.

3.4. Métodos, técnica e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Métodos.

3.4.1.1. Descripción de etapas.

Se tomó como metodología de referencia del trabajo de tesis de (Garay, 2017), con algunas modificaciones con respecto a nuestra investigación.

- **Selección del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*):** se recolectó una población de 10 especies del Dren ubicado por la carretera de Lambayeque, su selección se basó en sus características físicas: el color verde y el tamaño que tengan. La *Eichhornia crassipes* pasó a ser lavada cuidadosamente con agua destilada que luego fueron transferidas a un depósito con contenido de agua del grifo y se mantuvo en un reposo de 24 horas, luego fueron puestas en el recipiente para su respectivo tratamiento.

- **Identificación de la zona (pozo):** En esta etapa se llevó a cabo en primera instancia la ubicación del lugar centro poblado Cruz del Médano para la identificación del pozo con agua, donde se empleó la técnica a trabajar que es en este caso la utilización de un GPS donde se obtuvo las coordenadas UTM.

Tabla 5.

Coordenadas UTM.

| Coordenadas UTM | |
|-----------------|---------------|
| Este UTM (X) | Norte UTM (Y) |
| 614881 | 9280181 |

Fuente: Elaboración Propia

- **Selección y toma de muestra:** : El punto de muestreo fue el pozo de agua del centro poblado Cruz del Médano, para lo cual se siguió el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA), para la respectiva toma de muestra se tuvo que utilizar la debida indumentaria (guardapolvo, guantes descartables, mascarilla y gafas protectoras) en el caso de que el cuerpo de agua se encontró a una profundidad se tuvo que utilizar un depósito transparente sujetado a una soga, la cantidad de agua que se requirió para ser depositada en el recipiente fue de 15 litros. Las muestras paso por la medición de los parámetros (pH y T°) in situ, posteriormente se almacenó en depósitos con su etiquetado, la cual fue trasladada al laboratorio de EPSEL mediante una caja térmica con hielo donde la analizaron y se logró determinar la concentración de arsénico inicial presente en el pozo de agua.
- **Tratamiento con la especie:** el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) fue aplicada en el recipiente plástico de PET (Tereftalato de polietileno) de 30 litros de capacidad, el cual contuvo agua con arsénico y se determinó cuánto de nivel de arsénico se logró disminuir.
- **Análisis y monitoreo:** Se realizó tomas de muestras durante la investigación que fueron analizadas y monitoreadas la concentración de arsénico presente en el agua tratada, y se evaluó la eficiencia de las macrófitas para determinar la disminución de la concentración con el pasar del tiempo. La primera toma de análisis fue al aplicarse el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) a los 7 días y la última fue otros 7 días después que se había tomado la primera muestra y se determinó el nivel de arsénico a cuánto había disminuido.
- **Comparación de análisis:** posteriormente reunidos los resultados, se realizó la comparación de los análisis anteriormente realizados en el laboratorio antes de agregar

la especie, durante y después agregar la especie donde se determinó la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el agua con arsénico del centro poblado Cruz del Médano.

3.4.2. Técnicas.

3.4.2.1. Técnica de muestreo.

Las muestras de agua se recolectaron del pozo del centro poblado Cruz del Médano ubicado en el distrito de Mórrope, se empleó guardapolvo, guantes y envases para la recolección. La muestra se depositó en una caja térmica, luego se llevó al laboratorio de Epsel.

3.4.2.2. Técnica de laboratorio.

La muestra que fue llevada a Epsel, la analizaron por el método de espectrometría de absorción atómica, para determinar la cantidad de Arsénico (As) inicial y posteriormente al haberse realizado el tratamiento con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), también se tomó las muestras respectivas cada semana donde determino la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

3.4.3. Instrumentos y equipos.

3.4.3.1. Instrumentos.

- Balanza analítica digital
- GPS
- Cámara fotográfica
- Cintas para medir el pH
- Peachimetro
- Termómetro digital
- Indumentaria (guantes, guardapolvo)

3.4.3.2. Materiales.

- Recipiente plástico de PET
- Frascos de plásticos
- Soga
- Caja térmica
- Hielo
- Etiquetas
- Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

3.4.3.3. Análisis de laboratorio.

- Espectrómetro de absorción atómica

3.5. Procesamiento de datos y análisis estadístico

Para la realización del presente estudios de investigación los datos que se obtuvieron durante su ejecución fueron descritos en un cuaderno de apuntes y plasmados en tablas y gráficos elaborados donde se utilizaron los programas de software Word 2013 y Excel 2013, obteniendo los resultados satisfactoriamente.

IV. Resultados

4.1. Identificar los parámetros físico químicos de las aguas del centro poblado Cruz del Médano antes de aplicar la fitorremediación con Jacinto del agua (*Eichhornia crassipes*).

Resultado del nivel de concentración de Arsénico (As) en el agua de pozo del centro poblado Cruz del Médano-Mórrope ubicado en el departamento de Lambayeque antes de aplicar el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Tabla 6.

Parámetros iniciales del agua de pozo del distrito de Mórrope.

| Muestra | T° | pH | As (mg/L) | Fecha de análisis |
|--------------|------|------|-----------|-------------------|
| Mx: 1 | 26.0 | 7.25 | 0.047 | 19/09/19 |

Fuente: Elaboración Propia.

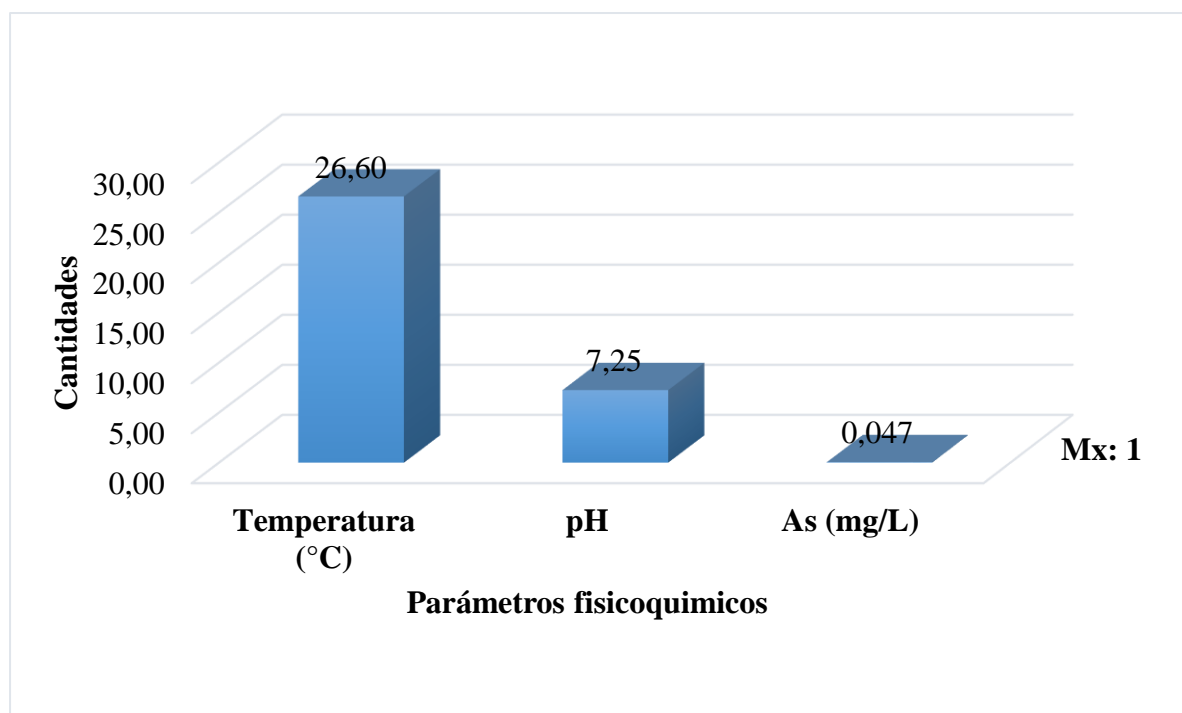


Figura 2. Parámetros iniciales del agua de pozo del distrito de Mórrope

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 6 y en la figura 2 se logra contemplar la concentración de As en el agua de pozo del centro poblado Cruz del Médano-Mórrope que fue tomada el día 19/09/2019, que dio

como resultado de Arsénico (As) 0.047 mg/l con los parámetros en pH de 7.25 y con una T° de 26.6°C.

4.2. Identificar los parámetros físico químicos de las aguas del centro poblado Cruz del Médano después de aplicar la fitorremediación con Jacinto del agua (*Eichhornia crassipes*).

Tabla 7.

Parámetros después de aplicar la fitorremediación.

| Muestra | T° | pH | As (mg/L) | % Remoción | Fecha de análisis |
|--------------|-------|------|-----------|------------|-------------------|
| Mx: 2 | 21.40 | 7.19 | 0.031 | 34 % | 27/09/2019 |
| Mx: 3 | 23.60 | 7.10 | 0.019 | 60 % | 04/10/2019 |

Fuente: Elaboración propia

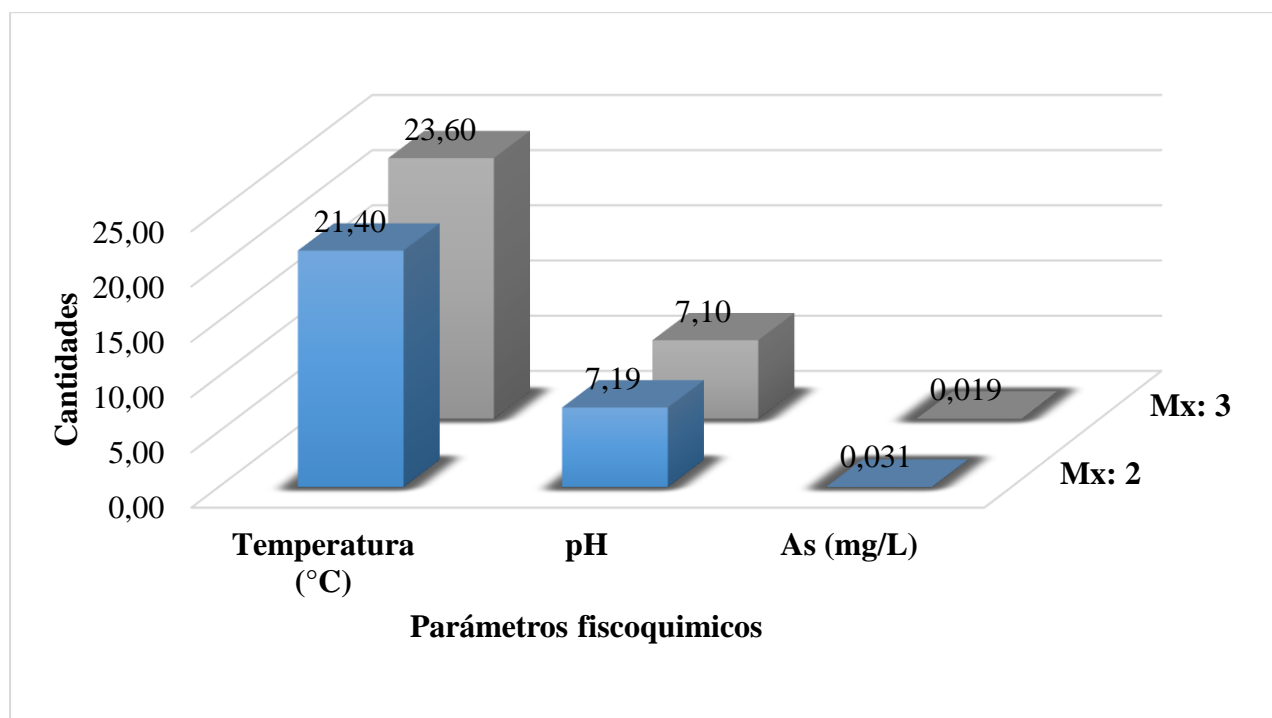


Figura 3. Parámetros después de aplicar la fitorremediación.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 y en la figura 3, se pudo evidenciar que al realizarse la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la primera semana que se tomó el análisis dio como resultado de Arsénico (As) 0.031 mg/l con T° de 21.40 °C y pH de 7.19 con una disminución de un 34%, por lo tanto, se logró observar una notable disminución de Arsénico (As) a la segunda semana de la fitorremediación a un 0.019 mg/l con T° de 23 °C y pH de 7.10 evidenciado un 60%.

4.3. Comparar los niveles de arsénico de las aguas del centro poblado Cruz del Médano antes y después de la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), para determinar su eficiencia.

Tabla 8.

Comparación de los parámetros.

| Muestra | T° | pH | As (mg/L) | % Remoción | Fecha de análisis |
|---------|----------|------|-----------|------------|-------------------|
| Mx: 1 | 26.60 °C | 7.25 | 0.047 | - | 19/09/19 |
| Mx:2 | 21.40 °C | 7.19 | 0.031 | 34% | 27/09/2019 |
| Mx: 3 | 23.60 °C | 7.10 | 0.019 | 60% | 04/10/2019 |

Fuente: Elaboración propia

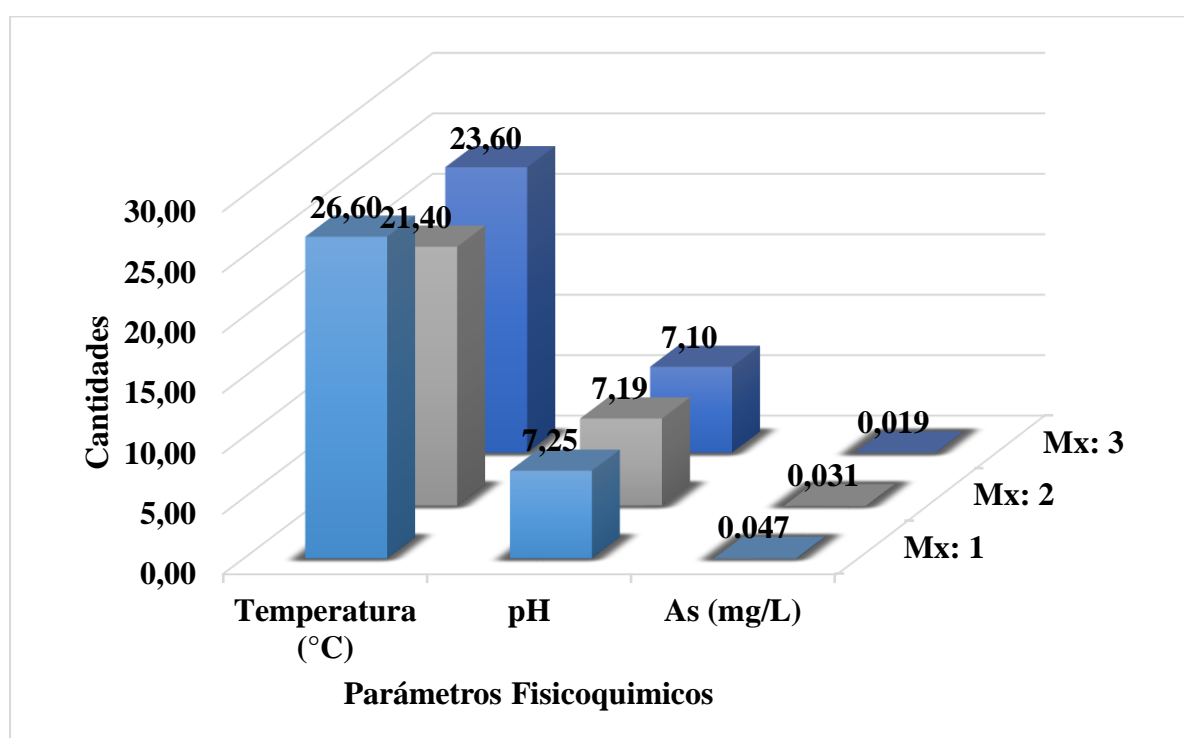


Figura 4. Comparación de los parámetros

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 y en la figura 4, se pudo observar la prueba inicial y las pruebas después de realizar la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), el que de acuerdo con los datos que se ha obtenido de los análisis que se realizaron, demostró que a medida que se dejó por más semanas el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) ha disminuido el Arsénico (As) inicial de 0.047 mg/l a un resultado final de 0.019 mg/l obteniendo un 60% de disminución y mantenido los parámetros que requiere la planta de T° y pH.

Tabla 9.*Presupuesto.*

| Bienes | |
|----------------------|--------------------|
| Peachimetro | S/ 100.00 |
| Termómetro digital | S/ 100.00 |
| Cooler | S/ 100.00 |
| GPS | S/ 1000.00 |
| Servicios | |
| Movilidad | S/ 250.00 |
| Análisis de muestras | S/ 500.00 |
| Compra de pecera | S/ 200.00 |
| Total | S/ 2 250.00 |

Fuente: Elaboración propia

V. Discusión

A partir de los resultados obtenidos de la prueba inicial y las pruebas después de realizar durante las dos semanas la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), se acepta la hipótesis alternativa probando: si se utiliza eficientemente la fitorremediación con Jacinto de agua entonces disminuirá las concentraciones de arsénico en las aguas del centro poblado Cruz del Médano.

Se evaluó el tratamiento por 14 días con el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en primer lugar se tuvo que recolectar agua del pozo del centro poblado Cruz del Médano una cantidad de 15 litros la cual fue depositada en el recipiente plástico de PET (Tereftalato de polietileno) y donde se instalaron un promedio de 10 plantas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), se llevó un monitoreo por dos semanas del cual se obtuvieron los siguientes resultados en el primer día de la prueba inicial sin tratamiento se tuvo una concentración de Arsénico (As) de 0.047 mg/l, con parámetros físico químicos: temperatura de 26.60 °C y un pH de 7.25, en tanto, al realizarse la fitorremediación instalando la planta acuática Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), demostró que a medida que se dejó por más semanas el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) ha disminuido el Arsénico (As) inicial a un resultado final de 0.019 mg/l y se mantuvo los parámetros que requiere la planta en temperatura 23.60 °C y pH 7.10; lográndose determinar mediante la evaluación de las dos semanas que se realizó la fitorremediación que hubo una notable comparación de disminución de Arsénico (As), comprobando la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para retención de metales.

De acuerdo con nuestro objetivo específico de identificar los parámetros físico químicos de las aguas del centro poblado Cruz del Médano antes de aplicar la fitorremediación con Jacinto del agua (*Eichhornia crassipes*) con respecto al análisis que se realizó sobre el As donde se obtuvo como resultado 0.047 mg/l demostrando una alta concentración, la cual guarda semejanza con respecto a la presencia de As con los resultados del informe técnico de Ingemmet (2018) en su “Estudio hidrogeológico del distrito de Mórrope” que obtuvieron resultados químicos donde el As tiene 0.1 mg/l que indica las altas concentraciones superiores a la categoría 1 de ECA (Estándares de Calidad Ambiental).

Los resultados obtenidos guardan relación con Sandoval, J. (2019) en su tesis “Eficiencia del Jacinto de agua *Eichhornia crassipes* y lenteja de agua *Lemna minor l.* en la remoción de cadmio en aguas residuales”, donde demostró que la *Eichhornia crassipes* logró variar la concentración inicial de 2 mg/l a un final promedio de 0.19 mg/l con parámetros aptos para la planta de T° de 23°C y pH de 7.5, el cual representa una eficiencia de remoción de 83.57%, siendo esta eficiencia calificada como muy alta superando el rango de 70 a 77% de la *Lemna minor L.* una eficiencia media de 39.35% para lo cual lo realizó en 11 días de ensayo. Por lo tanto, se comparte la conclusión con el autor que durante la fitorremediación esta especie ha presentado mejor adaptación, y desarrollo, tanto en los resultados de la evaluación de los valores mostrados en la remoción de cadmio y arsénico en aguas, lo que la califica como una especie adecuada para ser usada en el tratamiento de diferentes tipos de aguas contaminadas con otros metales; y a la vez este autor demostró que se puede utilizar otra especie para la remoción de diferentes metales.

Asimismo, podemos discutir que el Jacinto de agua no solo sirve para la absorción de cadmio y arsénico sino que también para la materia orgánica como lo describe Carreño & Granada, (2016) en su artículo de investigación “Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*”, se midió las concentraciones en el agua de cromo en mg/L al inicio y posteriormente cada dos días, determino que tan solo dos días después hubo una remoción de 33%. Las remociones como se pueden apreciar hay una continua disminución, estabilizándose después de 24 días de tratamiento a un 70% de remoción. En tanto para el DBO logro una remoción del 80% al 83%; comparando con nuestro resultado final donde se obtuvo que en menos días y en tiempos prolongados como es nuestro caso que en 14 días nuestra remoción logro ser un 60% evidenciando que la fitorremediación con (*Eichhornia crassipes*) es una alternativa eficiente para retener metales y materia orgánica, guardando relación con los autores de que la planta acuática logra ser económica y que puede ser aplicada en otros metales. Por otra parte, se está

acorde con Garay, I. (2017) en su tesis “Eficacia de las macrófitas Jacinto y lenteja de agua para disminuir la concentración del boro, en las aguas minerotermales de la Laguna La Milagrosa” con respecto a la metodología que se debería optar por analizar a tiempos prolongados dándose a cada semana la determinación de remoción del contaminante para determinar su mayor eficiencia.

Además, Julón, P. (2019) hace referencia en su tesis “Capacidad adsorbente de sólidos totales de la biomasa seca de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)” en el cual realizo un filtro ecológico de biomasa seca de Jacinto de agua siendo comparada con un filtro de arena, donde manifiesta que el Jacinto de agua es más eficiente en remoción de solidos totales en un promedio 51.035 % que el del filtro de arena que solo obtuvo una remoción en un 36.5%, debido a que el *Eichhornia crassipes* al convertirse en un bio filtro activa sus poros que logra formar orificios en su morfología permitiendo la retención de material particulado, además el autor nos describe que es usado para la absorción de metales pesados debido a sus particularidades morfológicas. Evidenciando que con un filtro de Jacinto de agua la retención de solidos totales es mejor en 14.35 % que de un filtro de arena. Con referente a lo expuesto por el autor se puede acotar que el Jacinto de agua no solo es utilizado en manera de técnica natural de fitorremediacion sino que deja demostrado que puede ser utilizada como técnica a manera de filtro ecológico logrando ser más eficiente que una técnica convencional como el filtro de arena.

VI. Conclusiones

Luego de realizar el presente trabajo de investigación, se pudo evidenciar las siguientes conclusiones;

- En la tabla 6, se logró contemplar el análisis inicial realizado el día 19/09/2019 al agua de pozo del centro poblado Cruz del Médano-Mórrope, el cual, permitió identificar la concentración de As que dio como resultado de 0.047 mg/l con los parámetros en pH de 7.25 y con una T° de 26.6°C.
- En la tabla 7, se evidencio que al realizarse la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la primera semana, se tomó el segundo análisis dando como resultado de Arsénico (As) 0.031 mg/l con T° de 21.40 °C y pH de 7.19, por lo tanto, a la segunda semana de la fitorremediación al realizarse el tercer análisis se logró observar una notable disminución de Arsénico (As) a un 0.019 mg/l con T° de 23 °C y pH de 7.10, evidenciando un 60%.

- En la tabla 8, se plasmó el resultado que se pudo observar en la prueba inicial y las pruebas después de realizar la fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), el que de acuerdo con los datos que se ha obtenido de los análisis que se realizaron, se logró concluir que a medida que se dejó por más semanas el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) ha disminuido el Arsénico (As) inicial de 0.047 mg/l a un resultado final de 0.019 mg/l obteniendo un 60% de remoción y mantenido los parámetros que requiere la planta de T° y pH.

VII. Recomendaciones

- Con respecto al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) se recomienda que al momento de realizar el tratamiento tienen que ser instaladas en un lugar donde se perciba mayor iluminación para su mejor desarrollo.
- Para investigaciones futuras si se inclinan por la utilización de esta especie Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), se les recomienda que sean utilizadas para la remoción de otros contaminantes proyectándose a más semanas para el tratamiento, ya que ha demostrado de manera significativa la disminución de Arsénico y así evidenciar si logra alcanzar los ECA (Estándares de Calidad Ambiental).
- Es necesaria la fomentación en la investigación de tecnologías eco amigables que busquen conseguir resultados óptimos y aceptables en el tratamiento de aguas, con consumo energético mínimo en el proceso.

VIII. Referencias bibliográficas

- Andrade, K. (2015). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Eichhornia crassipes mart. (Jacinto de agua), Pistia stratiotes L. (lechuga de agua) en el tratamiento de aguas residuales domésticas procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales en la parroquia Unión Milagreña del cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana.* (Tesis de posgrado). Universidad nacional de Loja, Ecuador.
- Alarcón, T; Leal, L; Miranda, S; Benavides A y Martin, I. (2014). *Arsénico en Agua Presencia, cuantificación analítica y mitigación.* Recuperado de: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro%202013-Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf>
- Campodónico, M. (2019). *Diagnóstico del estado actual de la concentración de arsénico en las aguas de consumo humano del centro poblado Cruz del Médano en Mórrope.* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica del Perú, Chiclayo.
- Carreño, U. y Granada, C., (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18 (2), 74-81. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=776/77649147009>
- Cortés, P; Flores, J. (2017). *Evaluación in vitro de la taruya (Eichhornia Crassipes) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo.* (Tesis de pregrado) Universidad de San Buenaventura Seccional, Cartagena.
- Fiestas, M. y Millones, A. (2019). *Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
- Garay, I. (2017). *Eficacia de las macrófitas Jacinto y lenteja de agua para disminuir la concentración del boro, en las aguas minerotermales de la “Laguna La Milagrosa”- Chilca, 2017.* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Hernández, N. y Luna, J. (2016). *Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal las Tinguas, en el tratamiento de aguas residuales domésticas.* (Tesis de pregrado). Universidad De La Salle, Bogotá.

- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET (2018). Estudio hidrogeológico del Distrito de Mórrope. Informe Técnico N°A68.30. Recuperado de: http://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/ingemmet/1743/9/A6830-Estudio_hidrogeologico_Morrope-Lambayeque.pdf
- Ita, D. (2017) *Capacidad de absorción de fosfato del Jacinto de agua Eichhornia crassipes para la mejora de la calidad de las aguas de los Pantanos de Villa, Chorrillos, 2017.* (Tesis de posgrado) Universidad Cesar Vallejos, Lima.
- Julon A. (2019) *Capacidad adsorbente de sólidos totales de la biomasa seca de Jacinto de agua (Eichhornia crassipes), quebrada altomayo, La Peca, Amazonas, 2018.* (Tesis de posgrado) Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas.
- Medina, M; Robles, P; Mendoza, M; Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. Recuperado de: <https://www.scielosp.org/article/rpmesp/2018.v35n1/93-102/>
- Mendieta. E y Zambrano. B. (2019) *Efecto de un biodegradador enzimático comercial en la producción de biol a partir de Jacinto de agua (Eichhornia crassipes Solms).* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta-Ecuador.
- Ministerio de Salud (2016). *Unidad temática N° 3: Vigilancia y control de la calidad del agua.* Recuperado de: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4516.pdf>
- Ministerio del Ambiente – MINAM (2015). *MINAM aprobó Estándares de Calidad Ambiental para Agua.* Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no-015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministerio-del-ambiente-minam-en-coordinacion/>
- Ministerio del Ambiente – MINAM (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio / Módulo 3: agua y alimento.* Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-3.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-3.pdf>

- Municipalidad Distrital de Mórrope (2019). *Diagnóstico de Brechas de Infraestructura o de Acceso a Servicios*. Recuperado de: <http://www.munimorrope.gob.pe/wp-content/uploads/2019/03/DIAGNOSTICO-DE-BRECHAS-DE-MEJORAMIENTODE-SERVICIOS-1.pdf>
- Organización Mundial de la Salud – OMS (2019). *Arsénico* Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Pastuña, K. (2015) *Fitorremediación del agua para el cultivo de plantas en el vivero forestal del gad Municipal del Cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, 2015*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.
- Papuico, K. (2018). *Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta yaluzai (Senecio rudbeckiaefolius) en la relavera de Quiulacocha del Distrito de Simón Bolívar de Rancas*. (Tesis de Posgrado) Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco.
- Perales, J. (2015). *Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia crassipes Jacinto de agua*. (Tesis de posgrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.
- Poma, V. (2014). *Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie Eichhornia crassipes (Jacinto de agua)*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N° 010- 2016. ANA). Recuperado de: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf
- Poveda, R. (2014) *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua*. (tesis de pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato – Ecuador.
- Rangel, E.; Montañez, L.; Luèvanos, M. y Balagurusamy, N (2016). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos - Impact of Arsenic on the

Environment and its Microbial Transformation. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 103 – 118. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/301299114>

Ramil, P; Rubinos, M; Gomez, L; Rodriguez, P; Hinojo, B (2014) *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre das Illas Atlánticas de Galicia como resultado de un transporte por mar a larga distancia. *Recursos Rurais*. 10, 15-24. Recuperado de: <http://www.usc.es/revistas/index.php/rr/article/view/3319/3467>

Real academia española (2019). Diccionario de la lengua española (23.a ed.). Recuperado de: <https://dle.rae.es/eficiencia>.

Sandoval, J. (2019) *Eficiencia del Jacinto de agua Eichhornia crassipes y lenteja de agua Lemna minor l. en la remoción de cadmio en aguas residuales*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villareal, Lima.

Tapia, L. (2017) *Evaluación de Arsénico con Chacko (Hidralgiritita) en Aguas Subterráneas Contaminadas del Distrito de Taraco – Puno*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

Vásquez, J. (2018) *Remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo - Trujillo utilizando Jacinto de agua (Eichhornia Crassipes) en humedales artificiales*. (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo.

Vargas, K. (2017) *Evaluación de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto-Moyobamba.

Anexos



Figura 5. Extracción del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Fuente: Elaboración Propia



Figura 6. Lugar donde se obtuvo el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), Dren ubicado en Lambayeque.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 7. Lavado del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).
Fuente: Elaboración Propia



Figura 8. Pesado del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Fuente: Elaboración Propia



Figura 9. Las 10 plantas de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) que se colocaron en el recipiente con el contenido del agua de pozo.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 10. Reposo del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Fuente: Elaboración Propia



Figura 11. Recolección de agua de pozo del centro poblado Cruz del Médano-Mórrope.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 12. Llenado de frasco para muestra 01.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 13. Medición de la temperatura del agua sacada del pozo.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 14. Medición de pH in situ.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 15. Llenado del recipiente con 15 litros del agua con arsénico.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 16. Lavado con agua destilada al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Fuente: Elaboración Propia



Figura 17. Recipiente de fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el agua de pozo del centro poblado Cruz del Médano-Mórrope a escala de laboratorio.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 18. Monitoreo del pH del agua de pozo con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Fuente: Elaboración Propia



Figura 19. Monitoreo de la temperatura del agua de pozo con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Fuente: Elaboración Propia



Figura 20. Toma de la segunda muestra.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 21. Segunda muestra con tratamiento con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) almacenada para su respectivo análisis.

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía 22A



Figura 22A y 22B. Características del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) durante el tratamiento.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 23. Monitoreo de temperatura del agua con tratamiento con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).
Fuente: Elaboración Propia



Figura 24A.



Figura 24B.

Figura 24A y 24B. Monitoreo de los parámetros ph y temperatura de la muestra con tratamiento.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 25. Medición de temperatura del tercer tratamiento de con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Fuente: Elaboración Propia

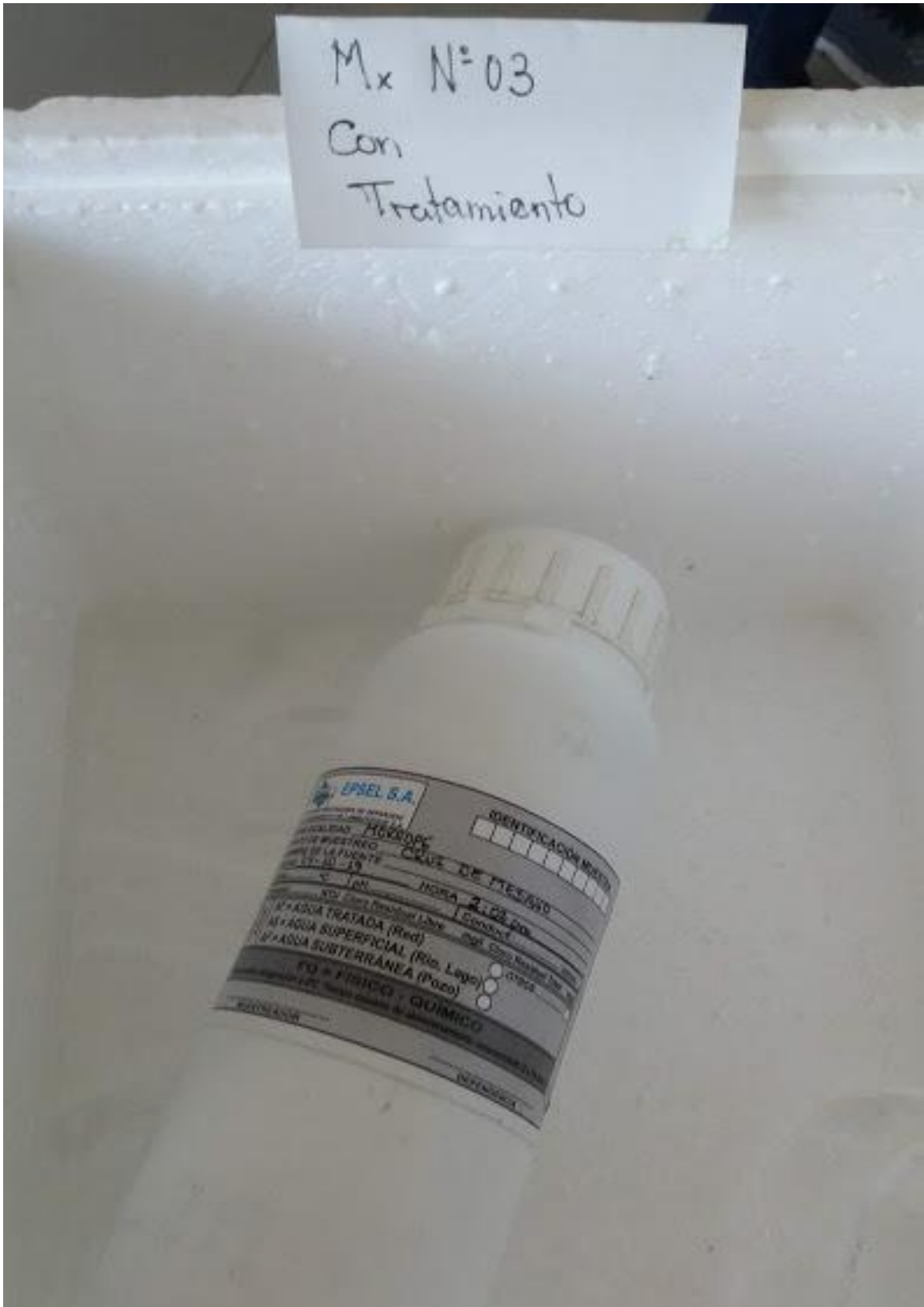


Figura 26. Muestra del tercer tratamiento del agua de pozo con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Fuente: Elaboración Propia



Figura 27. Entrega de muestra para analizar al encargado del laboratorio de Epsel.

Fuente: Elaboración Propia



**EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

**“ TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE ”**

Chiclayo, 11 Octubre del 2019

CARTA N° 082 -2019 –EPSEL S.A.- GG

**Srtas: ELIZABETH DEL PILAR SUYÓN DÍAZ
LISBET PAMELA ROJAS ADRIANZÉN**

Chiclayo .-

ASUNTO : Resultados Análisis de Muestra de Agua de Pozo
REFERENCIA : Solicitud N° 001/EPSPD - LPRA (9358 - 610070)

Es grato dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y al mismo tiempo comunicarle que adjunto al presente hago llegar los resultados de los ensayos análisis físico químico de una (01) muestra de agua.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle los sentimientos de mi mayor consideración.

Atentamente.



BLGQ. LORENZO BOCANEGRA CAMPOS
Jefe Oficina Control de Calidad
EPSEL S.A.

OFICINAS: Av. Carlos Castañeda Iparraguirre N° 100 - Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo
Telf.: 252291 (Central de Telefónica) - 253479 (G.G.) - Gerencia Operacional Telf.: 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Telf.: 273609 (G.C.) - 235751 (Central Telefónica)
Emergencias: Telf.: 238363 - 326747 - 0-800-27092
Pág. Web: www.epsel.com.pe

Figura 28. Resultados de análisis de Muestra de agua de pozo.

Fuente: Elaboración Propia



**EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

**“ TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE ”**

EPSEL S.A.
GERENCIA GENERAL
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS QUÍMICOS

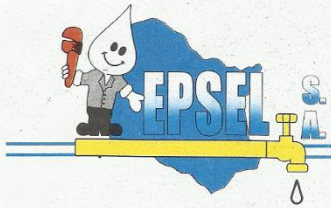
POZO CRUZ DEL MÉDANO

| PARAMETROS | FECHA | ARSÉNICO |
|------------|------------|----------|
| Arsénico | 19/09/2019 | 0.047 |

OFICINAS: Av. Carlos Castañeda Iparraguirre N° 100 - Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo
Telf.: 252291 (Central de Telefónica) - 253479 (G.G) - Gerencia Operacional Telf.: 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Telf.: 273609 (G.C.) - 235751 (Central Telefónica)
Emergencias: Telf.: 238363 - 326747 - 0-800-27092
Pág. Web: www.epsel.com.pe

Figura 29. Resultado del primer ensayo (Arsénico) sin tratamiento.

Fuente: Elaboración Propia



**EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

**“ TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE ”**

EPSEL S.A.
GERENCIA GENERAL
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS QUÍMICOS

POZO CRUZ DEL MÉDANO

| PARAMETROS | FECHA | ARSÉNICO |
|------------|------------|----------|
| Arsénico | 27/09/2019 | 0.031 |

OFICINAS: Av. Carlos Castañeda Iparraguire N° 100 - Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo
Telf.: 252291 (Central de Telefónica) - 253479 (G.G) - Gerencia Operacional Telf.: 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Telf.: 273609 (G.C.) - 235751 (Central Telefónica)
Emergencias: Telf.: 238363 - 326747 - 0-800-27092
Pág. Web: www.epsel.com.pe

Figura 10. Resultado del segundo ensayo (Arsénico) con tratamiento.

Fuente: Elaboración Propia



**EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

**“ TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE ”**

EPSEL S.A.
GERENCIA GENERAL
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS QUÍMICOS

POZO CRUZ DEL MÉDANO

| PARAMETROS | FECHA | ARSÉNICO |
|------------|------------|----------|
| Arsénico | 04/10/2019 | 0.019 |



OFICINAS: Av. Carlos Castañeda Iparraguirre N° 100 - Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo
Telf.: 252291 (Central de Telefónica) - 253479 (G.G) - Gerencia Operacional Telf.: 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Telf.: 273609 (G.C.) - 235751 (Central Telefónica)
Emergencias: Telf.: 238363 - 326747 - 0-800-27092
Pág. Web: www.epsel.com.pe

Figura 31. Resultado del tercer ensayo (Arsénico) con tratamiento.

Fuente: Elaboración Propia