



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Aplicación del *Sapindus saponaria* y su efecto en remoción de metales pesados en aguas acidas del pasivo minero Quiruvilca, 2023”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Castillo Tafur, Anderson Daniel (orcid.org/0009-0009-8596-8910)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (orcid.org/0000-0001-9146-7615)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO - PERÚ

2023

DEDICATORIA

De manera especial a mi hija por ser mi mayor razón para salir adelante a pesar de las dificultades que se presentan, a mis padres por los consejos y el apoyo brindado en esta trayectoria universitaria, por su infinito amor y bondad, por fortalecerme mentalmente e impulsarme a luchar por mis sueños, a mi esposa por ser el soporte emocional y brindarme su apoyo para no desmayar y lograr los objetivos propuestos en mi vida como es ahora terminar mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida y salud para poder seguir escalando profesionalmente. A mis padres por ser el pilar fundamental y haberme apoyado en todo momento. A la Universidad César Vallejo, que me brindó la oportunidad de prepararme para ser profesional y cumplir mis objetivos. A mi asesor Dr. José Alfredo, Cruz Monzón por guiarme en la elaboración de este trabajo. Su apoyo incondicional, su orientación, su dedicación, su comprensión y sobre todo su exigencia han sido la clave que me ha permitido concluir con éxito mi investigación.

Declaratoria de autenticidad del asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CRUZ MONZON JOSE ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Aplicación del Sapindus saponaria y su efecto en remoción de metales pesados en aguas acidas del pasivo minero Quiruvilca, 2023", cuyo autor es CASTILLO TAFUR ANDERSON DANIEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 30 de Noviembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CRUZ MONZON JOSE ALFREDO DNI: 18887838 ORCID: 0000-0001-9146-7615	Firmado electrónicamente por: JACRUZM el 18-12- 2023 18:52:14

Código documento Trilce: TRI - 0674782

Declaratoria de originalidad del autor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, CASTILLO TAFUR ANDERSON DANIEL estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Aplicación del Sapindus saponaria y su efecto en remoción de metales pesados en aguas acidas del pasivo minero Quiruvilca, 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
ANDERSON DANIEL CASTILLO TAFUR DNI: 72495863 ORCID: 0009-0009-8596-8910	Firmado electrónicamente por: ACASTILLOT2 el 30- 11-2023 00:43:57

Código documento Trilce: TRI - 0674784

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de autenticidad del asesor	iv
Declaratoria de autenticidad del autor.....	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	11
3.2. Variables y operacionalización	11
3.3. Población, muestra y muestreo	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
3.5. Procedimientos	13
3.6. Métodos de análisis de datos	14
3.7. Aspectos éticos	15
IV. RESULTADOS.....	16
V. DISCUSIÓN	20
VI. CONCLUSIONES	24
VII. RECOMENDACIONES.....	25
REFERENCIAS	
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas UTM de los puntos muestreados.....	12
Tabla 2. Resultados promedio de las muestras y remoción porcentual.....	16
Tabla 3. Comparaciones múltiples dosis de saponina, arsénico.....	18
Tabla 4. Comparaciones múltiples dosis de saponina, cobre	19
Tabla 5. Comparaciones múltiples dosis de saponina, zinc.....	19

Índice de figuras

Figura 1. Diseño experimental	11
Figura 2. Efecto de remoción de metales pesados... ..	16
Figura 3. Efecto de <i>sapindus saponaria</i> en la remoción de arsénico	17
Figura 4. Efecto de <i>sapindus saponaria</i> en la remoción de cobre	17
Figura 5. Efecto de <i>sapindus saponaria</i> en la remoción de zinc.....	18

RESUMEN

El tratamiento de los cuerpos de agua contaminada por la industria minera es de suma importancia por las consecuencias relacionadas con ellas. Es por eso que la presente investigación se propuso evaluar que efecto tiene la dosis de *Sapindus saponaria*, aplicada en condición alcalina de pH 8, en la remoción de arsénico, cobre y zinc en las aguas ácidas de la relavera Shorey-Quiruvilca. Se aplicó un diseño experimental consistente en 10 muestras incluyendo el blanco, de 300 mL de volumen que fueron alcalinizadas, a las cuales se aplicó dosis de 10, 20 y 30 mg/L de saponina extraída de *Sapindus saponaria*. Los resultados muestran que: el arsénico, cobre y zinc fueron removidos en 42.42%, 77.78% y 99.12% a una dosis de *Sapindus saponaria* de 30 mg/L respectivamente. Se concluye que la dosis de *Sapindus saponaria* a pH 8.0 presenta efectos favorables en la remoción de metales pesados en aguas acidas de la relavera Shorey – Quiruvilca.

Palabra clave: Aguas ácidas, *sapindus saponaria*, metales, dosis, remoción.

ABSTRACT

The treatment of water bodies contaminated by the mining industry is of utmost importance due to the consequences related to them. That is why this research aimed to evaluate the effect of the dose of *Sapindus Saponaria*, applied in an alkaline condition of pH 8. On the removal of arsenic, copper and zinc in the acidic Waters of the Shorey - Quiruvilca tailings dam. An experimental design was applied consisting of 10 samples including the blank, with a volume of 300 ml that were alkalized, to which doses of 10, 20 and 30 mg/L of saponin extracted from *Sapindus saponaria* were applied. The results show that: arsenic, copper and zinc were removed by 42.42%, 77.78% and 99.12% at a dose of *Sapindus saponaria* of 30 mg/L respectively. It is concluded that the dose of *Sapindus Saponaria* at pH 8.0 presents favorable effects on the removal of heavy metals in acidic Waters from the Shorey - Quiruvilca tailings dam.

Keywords: Acidic waters, *sapindus saponaria*, metals, dosage, removal.

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas ácidas de mina, con escaso o deficiente tratamiento, contaminan con metales en solución procedente de las reacciones de oxidación de sulfuros provenientes de las acciones mineras, dada la contingencia de fácil acceso de estas a fuentes de agua superficiales o filtrarse en acuíferos subterráneos empleados en el consumo humano o agrícola desde su origen son largamente reconocidas como un gran problema ambiental en incontables regiones mineras (Pozo, et al., 2017. P. 1). Una gran cantidad de ríos del mundo están contaminados con hierro debido al proceso de oxidación de sulfuros debido a la minería, (Battaglia-Brunet *et al.*, 2012; pp.3923-3933; Klein et al., 2013, pp.109-172). Los minerales comprometidos con la formación de las aguas ácidas de mina (AMD) son el azufre unido al hierro (pirita, FeS_2 y la pirrotita, $Fe_{1-X}S$) y, mínima parte, chalcopirita, marcasita, esfalerita, etcétera, estos presentan estabilidad si no están en presencia agua y oxígeno atmosférico (Descostes et al., 2004, pp. 263-265). Frente a este problema, nuevos trabajos emplean materia de origen vegetal para la remoción de metales pesados (MP), así tenemos restos de cosechas; de acceso fácil, utilizados como opción sustentable (Duanny et al., p. 1), investigaciones han perfeccionado numerosos métodos de remoción con capacidad de remover MP en aguas residuales. A pesar de ello, seleccionar un procedimiento específico, dependerá del tipo y concentración de residuos, la diversidad del efluente, el nivel necesario de remoción, así mismo de los costos (Rajasulochana & Preethy, 2016, p. 2).

Es imperioso innovar infatigablemente los métodos habituales de remoción de MP con la finalidad de emplear tecnologías eficaces que ayuden a remover estos del agua, por en cuanto es un problema, que hoy en día no se ha conseguido disminuir e incluso recuperarlos las aguas y reintegrarlos a procesos productivos (Burciaga, 2020, p. 1). Los habitantes de la colectividad campesina Condoraque han manifestado que las aguas del río y la laguna Choquene se hallan contaminadas y no se hace algo para eliminar estos metales, asimismo revelan problemas en la salud del ganado, seguido de muerte, bofedales y pasturas contaminados por MP en el agua del río (Citado por Cuentas et al., 2019, p. 2).

El procedimiento para remover MP es experimentado largamente y hay diferentes

metodologías para su remoción, métodos biotecnológicos, de adsorción, intercambio iónico y otros, la problemática consiste que ciertas tecnologías como la biosorción no son aplicables para aguas con alto contenido de metales en solución asimismo presentan problemas para la separación de las fases acuosa y sólida (Purakin y Paknikar, 1999, citado por Soto et al., 2006).

Existen diversas técnicas para el tratar los metales pesados disueltos en agua, así tenemos precipitación, intercambio iónico, ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis entre otros; siendo el método de adsorción el más utilizado por su fácil manipulación y elevada eficacia para remover metales pesados. Aun así, existen parámetros que afectan la remoción de metales pesados. Actualmente se buscan materia prima alternativa de bajo costo que se vienen estudiando como permisibles a la adsorción y eliminación de sustancias como la sílica, alúmbre activado, tierras y zeolitas naturales (Vicuña y Soto, 2021, P.1).

La falta de tratamiento para la remoción de MP en solución, ocasionan impactos sobre medio ambiente, esto se debe a la exploración, aprovechamiento y los procesos metalúrgicos que liberan sustancias potencialmente tóxicas, especialmente los efluentes ácidos de las minas, contaminan los ecosistemas como cuencas superficiales y aguas de las napas freáticas. Estos pasivos ambientales requieren un proceso adecuado y eficaces de remoción de metales en solución para reducir sus riesgos. (Bruguera et al., 2020, pp.73-78). El análisis del impacto ambiental que puede ocasionar las superficies contaminadas por metales pesados sin tratamiento en nuestro país, a consecuencia de la presencia de centenas de desechos mineros, demanda la evaluación e inclusión de géneros de plantas vasculares removedores de la contaminación y que muestren capacidad fitorremediadora (Huaranga Moreno et al., 2021, pp.633-650).

El problema general a investigar fue: ¿Cuál será el efecto de la *Sapindus saponaria* en la remoción de metales pesados en aguas ácidas del pasivo minero Shorey - Quiruvilca? su objetivo general fue: Evaluar el efecto que tiene la dosis de *Sapindus Saponaria* en la remoción arsénico, cobre y zinc de las aguas ácidas de mina de la relavera Shorey - Quiruvilca, los objetivos específicos fueron: Evaluar el comportamiento del arsénico, cobre y zinc frente a las diferentes dosis de *sapindus*

saponaria a pH 8, determinar el porcentaje de remoción de arsénico, cobre y zinc en base a la concentración inicial en aguas ácidas de la relavera Shorey - Quiruvilca y analizar la dosis de *Sapindus Saponaria* que presentó el mejor efecto en la remoción de arsénico, cobre y zinc en aguas de la relavera Shorey - Quiruvilca.

Ciertos elementos en pequeñas cantidades son significativos para el metabolismo de las personas (Barraza *et al.*, 2018, p.1). Pero, otros elementos no poseen funciones favorables a la salud de las personas, así tenemos, arsénico, cromo y cadmio que son calificados cancerígenos (Barraza *et al.*, 2018, p.1 y Waisberg *et al.*, 2015, pp. 95.117). Los MP son perniciosos a la salud y ambiente. Sus particularidades más frecuentes son: constancia, acumulación y transformación y alta toxicidad, lo que significa que permanecen en el ecosistema por mucho tiempo debido a que son difíciles de degradar naturalmente (Rodríguez Heredia, 2017, p.1).

Actualmente uno de los más grandes problemas de contaminación ambiental es causado por los metales pesados en fuentes de agua del mundo a consecuencia de su alta toxicidad se consideran un problema importante para los moradores de las localidades que se proveen de agua de estos ríos. La existencia de estos metales en las fuentes de agua se ocasiona por las diversas acciones antropogénicas, afectando también los sistemas ecológicos y la vida humana, ocasionando serios problemas económicos en el sistema de salud y una baja en la productividad de los habitantes de la región (Pabón *et al.*, 2020, pp. 9-18).

II. MARCO TEÓRICO

Se denominan metales pesados de acuerdo a la tabla periódica a los elementos con mayor densidad (más de 4 g/cm³) y masa atómica mayor a 20 y estos son perjudiciales a niveles bajos, como son; Aluminio, Berilio, Cobre, Hierro, Manganeso, Cadmio, Mercurio, Plomo, etc. (Londoño et al., 2016, pp.145-143). *Sapindus saponaria*, es un árbol que se encuentra en zonas cálidas de América, cuyos frutos maduros, especialmente la cáscara, presenta acción surfactante, siendo empleado en lavado de ropa, para limpieza del cuerpo, así como medicinal en el tratamiento de hongos, algunas colectividades nativas lo emplean para cazar peces, acción ictiotóxica (Cogollo et al., 2014)

En los países latinoamericanos con abundantes recursos naturales se utilizó una estrategia de crecimiento que no compensó los daños causados de manera insensata por la minería no sostenible. La presencia y permanencia de compromisos ambientales de la industria minera (PAM) es preocupación de toda la población, desde las comunidades afectadas hasta el gobierno, para analizar su situación actual, responsabilidad, medidas de amortiguamiento, prevención y costos. Por lo tanto, la obtención de la matriz de riesgos se convierte en un instrumento útil para identificar y tomar acciones específicas (López et al., 2017, pp.78-91).

Entre las metodologías de remoción de MP está la bioadsorción, fundada en la técnica física química en el que se involucra una materia biológica como agente de adsorción en un efluente líquido conteniendo en solución iones de metales pesados (Tejada Tovar, Villabona Ortiz & Garcés Jaraba, 2015). Comparando con las técnicas tradicionales, la bioadsorción muestra una elevada eficacia de separación y exento de efectos secundarios como lodos contaminados (Rangabhashiyam & Balasubramanian, 2019).

Aguilar y Flores, 2018. En su trabajo, Evaluación de la cáscara de naranja (*Citrus cinensis*) como material adsorbente natural de ion metálico Cu (II), indican que el pH influye para obtener mejor eficiencia en la técnica de adsorción de Cu (II) empleando como absorbente el *Citrus cinensis*, y aun pH 4,0 logra 35.6447%

de remoción y a pH 3,0 obtuvo un 25.7296% de remoción, en un tiempo de 2 horas.

Las actividades de extracción de metales del interior de la tierra ocasionan aguas ácidas, a un pH entre 2 y 6; las empresas mineras no muestran métodos de control; en este caso se aplicó hipoclorito de sodio (NaClO) para remover, precipitar y separar el manganeso por oxidación. Las aguas ácidas tomadas de la bocamina de la zona de extracción de la Compañía Minera Volcán S.A.A., Región Junín, a pH entre 3.5 a 5.5 y una solución de Mn^{2+} a 250 mg/L. lograron remover el 99.96% de Mn^{2+} . Concluyendo que el nivel inmejorable de pH para esta remoción estuvo entre 8.5 y 8.8, la solución de hipoclorito de sodio empleada fue promedio de 0.05% y 1.0 mg/l correspondientemente (Castillo et al., 2022).

Es por ello que una de las importantes tareas de las empresas industriales mineras está relacionada con el manejo apropiado de sus productos y sub productos provenientes de la extracción y procesamiento de minerales que puedan significar peligro para el medio ambiente, la sociedad o toda la región (Romero y Bravo, 2021, p.5).

Las operaciones mineras generan grandes volúmenes de desechos que suelen tener sulfuros, los cuales, en contacto con el aire y el agua, ocasionan las aguas ácidas que contaminan estas con metales pesados, mediante, cambios físicos, cambios químicos y biológicos que llevan a la formación de estas sustancias ácidas desechos que deben ser debidamente almacenados, en llamados vertederos de relaves o relaves simplemente (Aduvire, 2019, pp.55-64).

En los últimos años se han perfeccionado métodos más efectivos de determinación de aguas ácidas de minerales que, además de la acidez protónica, también incluyen ácidos minerales, que muchas veces no se tienen en cuenta en los métodos clásicos de determinación. También se promueve el uso de nuevos métodos en la inspección y control de aguas excedentes de mina, como recobrar metales de aguas ácidas, ya sea que la planta esté en operación o abandonada, utilizando tecnologías en procesos físicos y químicos

que alteran el contexto del potencial de reducción (Eh) y la acidez (pH) de las aguas residuales, que contribuye a la formación de sustancias insolubles y la precipitación de metales disueltos en el agua (Aduvire, 2019, pp.55-64).

Las aguas de mina suelen ser ácidas y tienen altos contenidos de Fe, Al, SO₄, así como Zn, Mn, Mg, Cu, Cd, Pb y As, que son los principales causantes de la disponibilidad de los residuos que contaminan la característica de la vida acuática. Este problema puede continuar durante décadas e incluso siglos después de que se detenga la minería. Esta característica hidrogeoquímica de los residuos mineros como la acidez protónica debido a los iones de hidrógeno libres (H⁺), así como la acidez mineral debido a la solubilidad de Fe, Al y Mn. Estos elementos se consideran ácidos ya que, a través oxidación e hidrólisis, consiguen formar H⁺ (Aduvire 2019, pp.55-64).

Son responsables de generar las aguas ácidas que drenan de las minas (DAM) con características potencialmente tóxicas y contaminan aguas inocuas, ya sea bajo tierra como en la superficie, las sustancias sulfuradas presentes en la industria minera, principalmente en los minerales polimetálicos que contienen sulfuros, conocidos como la pirita y otros elementos como la calcopirita. Las propiedades químicas de la pirita se deben a la reacción con el oxígeno del aire y el agua, mediante dos tipos de actividad: inorgánico, por la presencia de oxígeno molecular o iones férricos; y otros por actividad biótica, especialmente de microorganismos (Pozo et al., 2017, pp.75- 91).

Las variedades vegetales son excelentes para la remoción, ostentan la propiedad de almacenar y resistir elevados contenidos de metales en su tejido y esto es viable en aquellas que poseen capacidad de eliminar contaminantes mediante varios procedimientos así tenemos fitofiltración, fitoestabilización, fitoextracción, fitovolatilización y fitotransformación, cada especie posee disímiles capacidades de acumulación para diferentes metales. Esta investigación in vitro demostró que el maíz acumula Co y Cr, en tanto el girasol (*Helianthus annuus*) manifestó propiedades de acumular altos contenidos de Cd, con una remoción del 56,03 %. El nabo (*Brassica campestris*) presentó características acumulativas elevadas de Cr. Del mismo modo, la

arveja (*Pisum sativum*) manifestó buena acumulación de Pb con una eficiencia de remoción del 96,23 % (Castebianco, 2018).

La adsorción con materia orgánica es una técnica de remoción de contaminantes en soluciones acuosas utilizando biomasa viva o muerta. Es un procedimiento de bajo costo y práctico para la limpieza de MP en el agua, la materia orgánica empleada puede ser activada o no. Este conjunto de técnicas emplea restos orgánicos como material adsorbente que son estudiados en la actualidad para indagar sobre sus características, mecanismo de adsorción y rendimiento. El procedimiento de bioadsorción no demanda nutrientes y no muestra restricciones biológicas, así mismo los niveles de remoción cotejada con las técnicas habituales son muy significativos. Este procedimiento se halla influenciado por diversos factores entre ellos la cantidad inicial del elemento, el tamaño de la partícula, el pH, entre otros. Los adsorbentes biológicos son materia prima procedentes de microorganismos, bacterias, hongos, algas marinas, plantas o algunos polímeros naturales que han manifestado su capacidad de excluir MP presentes en aguas residuales (Duanny et al, 2022).

Las saponinas forman un conjunto heterogéneo de sustancias considerablemente abundantes en vegetales, identificadas por sus características físicas y químicas (surfactantes), conteniendo un triterpeno o esteroide aglicón y cadenas de azúcar (Zamora, 2007, p.1).

Zuñiga, et al, (2022), encontraron que la técnica física química de remoción de metales pesados del agua potable empleando membranas, adsorbentes y electroquímicos, son los más utilizados, por ser más baratos en la remoción de metales como As, Cr, Cd, Cu, Hg, Pb, Ni. Asimismo, existen una gran diversidad de técnicas que son adaptables a la potabilización del agua.

Se ha determinado que la temperatura y el tiempo de residencia influyen en la separación de contaminantes, también se observó la presencia de diferencias en la capacidad de adsorción metales, tanto en surfactantes naturales como modificados, lo cual depende del comportamiento de la superficie del adsorbente y del pH del medio. Así a pH más alto la carga en la superficie será

negativa, a consecuencia de la deprotonación de los grupos carboxilo e hidroxilo (Debnath et al., 2017, pp. 679-688).

Lavado et al. (2020, pp.36-46), estudió la biomasa de los cladodios cactus para la exclusión de plomo de los medios acuosos en los pasivos mineros de la sierra del Perú. Las características fisicoquímicas de los cladodios del cactus se evaluaron mediante métodos FTIR y SEM/EDX. La investigación FTIR ratificó la existencia de cumarinas y saponinas con grupos -OH y otros que interactúan con el elemento. Las micrografías SEM revelaron que la configuración de la superficie de los cladodios cactus tiene suficiente porosidad para la biosorción. Mediante el método batch se logró la mayor biosorción (q_e) cuando la relación masa/volumen de los cladodios de cactus fue de 4 g/L a un pH 4.5 y tiempo de 1 h. La información relacionada con otros modelamientos, más apropiados, indican que la remoción se lleva a cabo en focos activos de energía análogos con un valor de bioadsorción (q_e) máximo de 50,24 mg/g. Los resultados logrados muestran que los cladodios de cactus se pueden utilizar como un biosorbente efectivo para el tratamiento de agua contaminada con Pb (II).

Rodríguez, et al, 2017, estudio las saponinas existentes en la cabuya (*Furcraea andina*), a manera potencial bio-surfactante de metales en el procedimiento de remoción en aguas residuales. El extracto de saponinas de la materia vegetal lo cuantifico en proporción de saponina adquiridas al final utilizando la técnica de la espuma, como técnica cualitativa, cuantitativo y la extracción doble gravimétrica como técnica cuantitativa.

Alarcón, 2016 estudio varios métodos de extracción de la saponina con la intención de instaurar el más eficiente y viable a partir del fruto *Sapindus saponaria* (choloque) y su potencial uso en la industria a nivel mundial. La extracción se efectuó usando la técnica de Wall (1952). Al concluir logró un extracto bruto de saponinas, el cual se hidrolizó proporcionando cristales pardos que al formar cristales adquieren un color blanquecino.

Muchas variedades de vegetales han sido utilizadas en la eliminación de

nitrógeno, fósforos, materia orgánica y metales, logrando estas últimas mejor eficiencia a niveles reales e in vitro; las proporciones de eliminación de metales en las ciénagas penden del elemento (Hg> Mn> Fe = Cd> Pb = Cr> Zn Cu => Al> Ni> As), sus estados de oxidación, las circunstancias de la sustancia, el periodo, y los géneros de vegetales, a consecuencia de la variedad de tolerancia a concentraciones altas de los elementos (Kim et al., 2014, pp.411- 421).

La revisión realizada por Duanny et al. (2021, p.4) sobre restos vegetales utilizados como bioadsorbentes no convencionales de metales pesados que manifestaron sobresalientes resultados fueron: la borra de café, el exocarpio de plátano, exocarpio de yuca, vaina de frijol, marlo de maíz, exocarpio de naranja, exocarpio de mandarina, exocarpio de tamarindo, exocarpio de cacao.

Cuizano, et al. (2010), estudio la adhesión de cationes Pb, Zn, Cu, Cd y Au en algas *Lessonia nigrescens* Bory (L13) y *Macrocystis integrifolia* Bory (S12) encontrando un significativo efecto del pH el cual es limitada la acidez del catión y evidencia el favoritismo de las algas por el ion Pb (II) y Cd (II). Esta preferencia de las plantas acuáticas por los iones experimentados presenta el orden: Pb>Cd>Zn Cu. El ion Au⁺ presenta una baja velocidad de formación de complejos dependiendo significativamente del pH.

Ríos, et al. (2021). Concluyo que una de las causas que influyen significativamente en las propiedades químicas de iones metálicos en solución es la acidez. El pH, influye en la reactividad del metal y en consecuencia su interacción con la pared celular del vegetal (Moghazy et al., 2019, pp. 330- 343).

En la investigación se analizó el efecto del pH en la capacidad de adsorción de MP por la alga roja *Bostrychia calliptera*(*Rhodophyta*, *Rhodomelaceae*). Se expusieron desiguales concentraciones de mercurio (Hg) y Plomo (Pb), por tiempos de exposición de 0, 12, 24 y 96 horas, a desiguales valores de pH. Las más altas tasas de adsorción se hallaron en algas expuestas a pH 8 (Hg y Pb).

La adsorción por el alga aumentó de modo directamente proporcional hasta las 48 h de exposición, tiempo en el que demostró más alta eficacia de adsorción.

Gonzales y Guerra, (2016) empleando cáscara de plátano (*Musa Sapientum*) remover Zinc de una solución preparada en laboratorio en un 66.37%, aplicando una velocidad de agitación de 80 rpm, a una temperatura de 80 °C. Evidenciando que la *Musa Sapientum*, presenta capacidad de remoción de zinc de medios acuosos. Concluyendo que se debe considerar como una opción viable en la remoción de MP en soluciones acuosas.

Trabajos de remoción de zinc realizados por Magno (2020) en su tesis Eficiencia en la remoción de Plomo (Pb) Y Zinc (Zn) de aguas residuales industriales del proceso de explotación minera mediante la aplicación de Alginato de Algas Pardas (*Macrocystis Pyrifera*) químicamente modificado, muestran que el biomaterial a pH 8.0 logro una remoción del 91.29% de Zinc.

Vitor (2019) empleando un biofiltro de cabuya obtuvo una remoción de Zinc del 95.534% a un tiempo de exposición de 3 horas de agua conteniendo 2 ppm de zinc, del mismo modo al utilizar una solución de 4 ppm de zinc, logro una remoción del 95.99% atribuyendo a la lignina presente en las paredes de la fibra de cabuya, como responsable de la absorción del Zinc en la muestra tratada.

Rodríguez (2020) Valoró la capacidad de biomoléculas de bacterias de la especie *Pseudomonas* en la remoción de cobre de aguas contaminadas a un pH de 4-10, durante un tiempo de residencia de 2 a 10 horas a una concentración del biosurfactante de 40-120 mg/ L, concluyendo que las biomoléculas superficialmente activas de algunas bacterias de la especie *Pseudomonas* se presenta como una alternativa interesante y económica en la remoción de cobre de las aguas contaminadas. Observando que la remoción porcentual de cobre fue proporcional al tiempo de residencia y la proporción del biosurfactante, logrando un 48 % de remoción en un tiempo de 10 horas y 120 mg/L de biosurfactante. Concluyendo que las biomoléculas de bacterias de la especie *Pseudomonas*, pueden utilizar para la remoción del cobre.

Alcázar et al (2014) desarrolló un procedimiento de remoción de Cu(II), empleando la pulpa de lechuguilla (*Agave lechuguilla*), abundante en saponinas,

las condiciones fueron: 0.1-2 g de extracto/g de cobre, a temperatura de 22°C y un pH_{inicial} de 8.0, obteniendo una eficiencia de remoción del 98.7%, recomendando reemplazar el uso de sustancias químicas por extractos de lechuguilla (*A. lechuguilla*), en la remoción de Cu (II).

El As⁺³ y el Cr⁺⁶ se encuentran en forma natural en el ambiente, a consecuencia de las acciones antropogénicas, especialmente a las actividades mineras, estos elementos son contaminantes de elevado riesgo ambiental; Arcos y Vivar (2014) evaluaron la acción de saponinas obtenidas de la raíz del Agave americana en la remoción de cromo de aguas contaminadas, alcanzando una remoción del 16% de Cr⁺⁶ y 64,41% en el As⁺³; recomendando el uso de Agave con alto contenido de saponinas para la remoción de As⁺³ y Cr⁺⁶ presentes en aguas residuales.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue de tipo aplicada puesto que se aplicó sobre una muestra real con la finalidad de solucionar directamente el problema de presencia de metales de manera práctica.

Su diseño fue experimental, por cuando estuvo orientada al estudio del efecto de la dosis en el comportamiento de la remoción de los metales As, Cu y Zn en condiciones alcalinas.

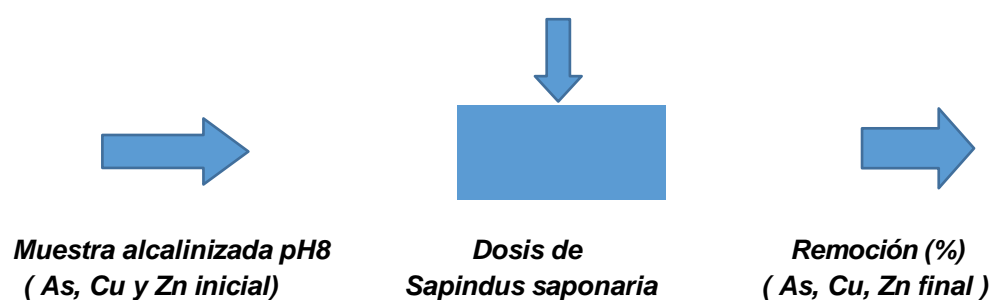


Figura 1. Diseño experimental desarrollado

3.2. Variables y operacionalización

La operacionalización presentó las siguientes dimensiones, remoción de MP, dosis de *Sapindus saponaria* y su indicador fue, la dosis de saponina y el porcentaje de remoción de MP.

Variable independiente:

- Dosis de saponina: 10, 20 y 30 mg/L.

Variable dependiente:

- Remoción de As, Cu y Zn (%)

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Estuvo constituida por las aguas almacenadas en la poza de relaves de la compañía minera Quiruvilca. (Reservorio artificial sobre la tierra) que contiene los relaves o aguas acidas como subproducto de la actividad minera de la Pan American Silver SAC.

Se incluyeron las aguas de la relavera producto de las actividades mineras de la compañía Pan American Silver de Shorey, Quiruvilca. Se excluyeron, las aguas acidas generadas de otras actividades de las zonas aledañas. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado considerando seis puntos en la poza de relaves que se muestran a continuación.

Tabla 1. Coordenadas UTM de los puntos muestreados

Puntos de Muestreo	Coordenadas UTM	
	Longitud	Latitud
P1	8° 01' 24"	78° 18' 56"
P2	8° 01' 30"	78° 18' 51"
P3	8° 01' 35"	78° 18' 48"
P4	8° 01' 40"	78° 18' 32"
P5	8° 01' 29"	78° 18' 31"
P6	8° 01' 17"	78° 18' 37"

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada fue la observación experimental y su instrumento las fichas de campo en donde se recolectó información, así como los resultados de análisis de laboratorio y otras anotaciones de campo e instrumentos datos de ubicación satelital, pH, temperatura, conductividad eléctrica entre otros datos relevantes durante el proceso seguido

3.5. Procedimientos

3.5.1 Muestreo y acondicionamiento: La muestra estuvo constituida por 20 litros de agua acida de la relavera Shorey-Quiruvilca, la cual fue obtenida de 6 puntos diferentes y de acuerdo Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, los cuales fueron medidos su valor de pH, rotulados y transportados al laboratorio de Biotecnología CITE – Moche, para su procesamiento. La unidad muestral estuvo constituida por 300 mL de agua acida con 3 repeticiones para cada dosis de *sapindus saponaria* (10, 20 y 30 mg/L) más la muestra testigo haciendo un total de 3 litros de agua acida de mina la cual fue ajustada a pH 8 usando una solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$

3.5.2 Extracción de Saponina

Se pesaron 500 gramos de la cascara de *Sapindus saponaria* (Choloque) y secando en estufa a 110 °C durante 2 horas, luego se dejó enfriar y trituro a polvo, de esta muestra se tomaron 100 gramos del polvo seco el cual se dejó macerar con 100 mL de etanol al 70% de grado alcohólico durante 48 horas, luego se filtra al vacío y el residuo solido se vuelve a macerar con 50 mL de etanol al 70% por un tiempo de 24 horas, se filtra y se unen los dos extractos llevándolos luego a evaporar hasta 20 mL el cual se consideró como la solución madre, dejando enfriar y al final se analizó la concentración porcentual de la saponina, 0.6% utilizando un refractómetro, equivalente a 120 mg en los 20 mL.

3.5.3 Identificación de Saponina en extracto

Se realizó utilizando la prueba de Salwosky, la cual consistió en añadir 0,5 mL del extracto madre, luego 1 gota de cloroformo y otra de ácido sulfúrico, la presencia de una coloración anaranjada indico una reacción positiva a saponina (Bañuelos et al, 2018). A partir de la concentración de la solución extracto de saponina, se realizaron los cálculos para preparar las concentraciones indicadas en el diseño de la investigación.

3.5.3 Aplicación de Saponina

A las muestras acondicionadas a pH 8, se les añadió la solución de *saponina* requerida para obtener las proporciones de 10, 20 y 30 mg/L a un pH de 8.0 respectivamente. La preparación de la dosis a 10 mg/L, se preparo añadiendo 1.5 mL de la solución madre de saponina a 900 mL de muestra, las cuales se dividieron en 3 porciones de 300 mL cada porción; de manera similar a 900 mL de agua acida se añadió 3 mL de solución madre de saponina para preparar la dosis a 20 mg/L, del mismo modo se preparo la muestra a dosis de 30 mg/l añadiendo 4.5 mL de la solución madre.

Las muestras ya preparadas fueron tratadas con agitación en el test de jarras por un tiempo de 15 minutos a una velocidad de 250 rpm, por triplicado, dejándose reposar por 45 minutos y observando la formación de coágulos.

Después del tratamiento cada una de las tres muestras se filtraron al vacío y el filtrado de cada tratamiento fue llevada al laboratorio para el análisis de metales presentes en la solución por el método de absorción atómica.

Se compararon los resultados obtenidos al final de la prueba con los resultados iniciales de la muestra cero o testigo, se registraron para su análisis e interpretación en gabinete.

3.6. Método de análisis de datos

La información recolectada de los resultados de las variables independientes y su efecto sobre la variable dependiente, fue analizada estadísticamente, mediante el análisis de varianza (Anova) para comparar los resultados promedios, primero se evaluó si los datos obtenidos presentaron un comportamiento normal mediante la prueba de Shapiro Will por cuanto el número de datos fue menor a 50. Luego se realizó la prueba de la varianza, desviación estándar y promedios, se compararon los resultados de las variables, finalmente se evaluó cuál fue el tratamiento que presentó los mejores resultados mediante la prueba de Tuckey.

3.7. Aspectos éticos

La información tomada de otros estudios de publicación abierta fue referenciada, respetando las normas de ética de la universidad César Vallejo. Las fuentes utilizadas en la presente investigación fueron con fines académicos, de fuentes confiables en su mayoría fueron extraídas de revistas indexadas.

Las citas se realizaron en cumplimiento con los protocolos de investigación siguiendo los lineamientos de la Universidad César Vallejo.

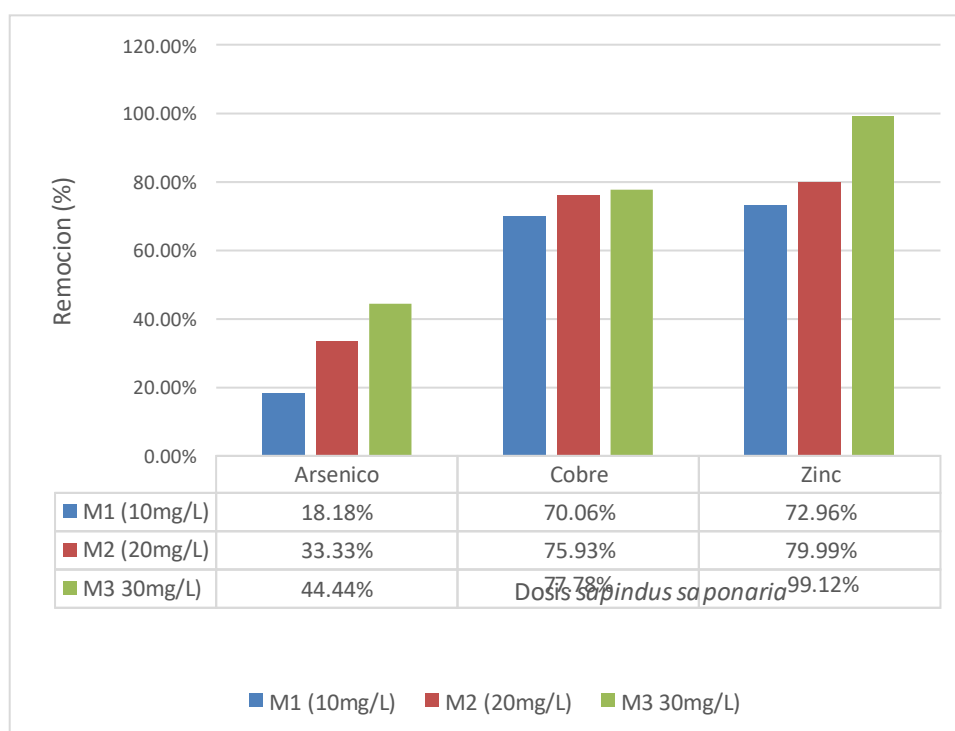
IV. RESULTADOS

A partir de una muestra de agua acida de la relavera Shorey-Quiruvilca cuyo pH inicial fue de 3,98 se realizó se procesó de alcalización con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hasta un valor de 8,06

Tabla 2. Resultados promedio de las muestras y remoción porcentual

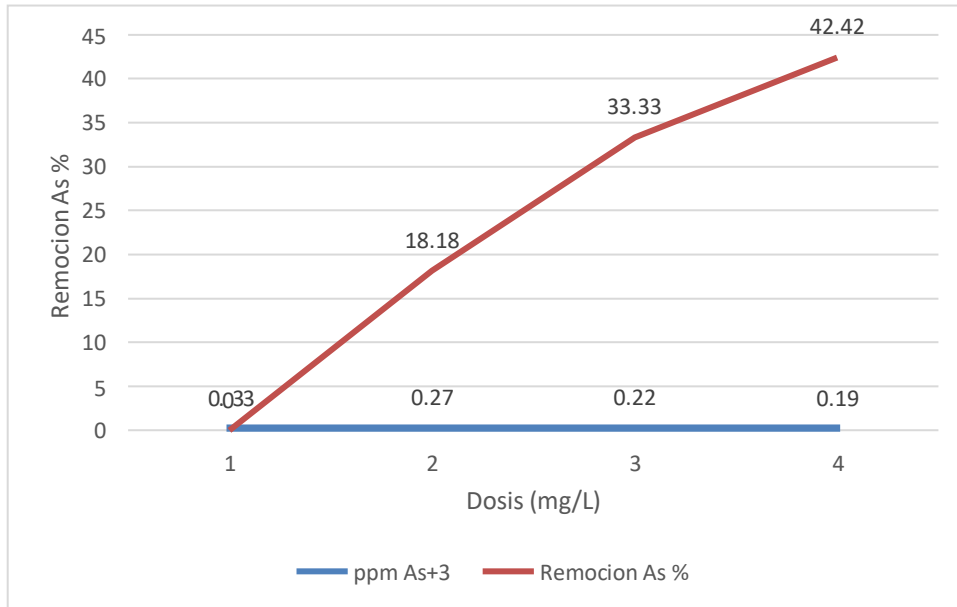
Parámetro	Unidad	Concent (ppm)	Tratamiento M1		Tratamiento M2		Tratamiento M3	
			Concentración (mg/L)	Remoción (%)	Concentración (mg/L)	Remoción (%)	Concentración (mg/L)	Remoción (%)
Dosis de Saponina	mg/L		10		20		30	
Arsénico	mg/L	0.33	0.27	18.18	0.22	33.33	0.19	42.42
Cobre	mg/L	10.80	2.91	70.06	2.60	75.93	2.40	77.78
Zinc	mg/L	31.73	8.58	72.96	6.35	79.99	0.28	99.12

Fuente: Elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

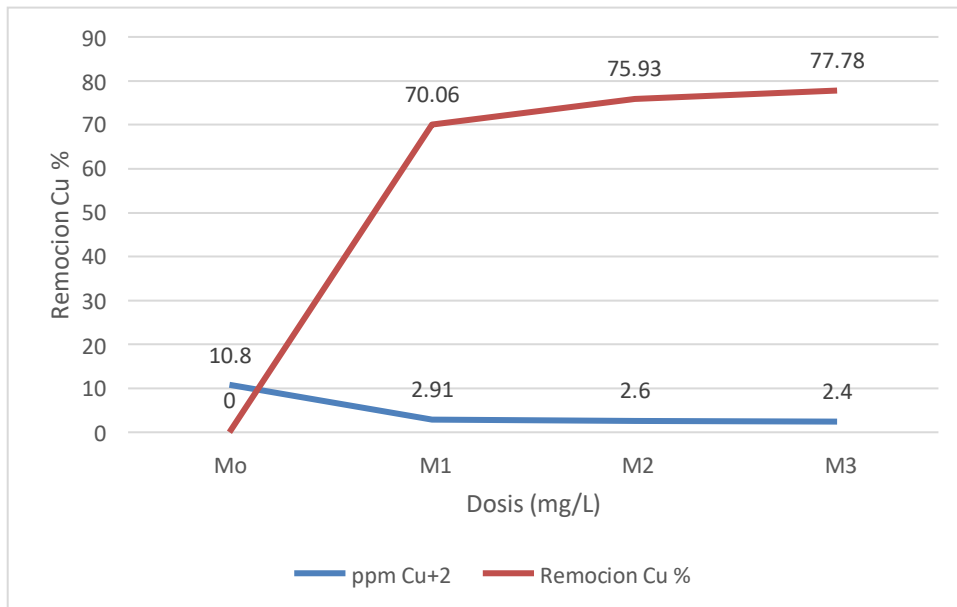
Figura 2. Efecto de la variación de la dosis de *sapindus saponaria* en la remoción porcentual de metales pesados en las muestras de aguas de la relavera, Shorey, Quiruvilca.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Efecto de la dosis *sapindus saponaria* en la remoción de Arsénico a pH 8.

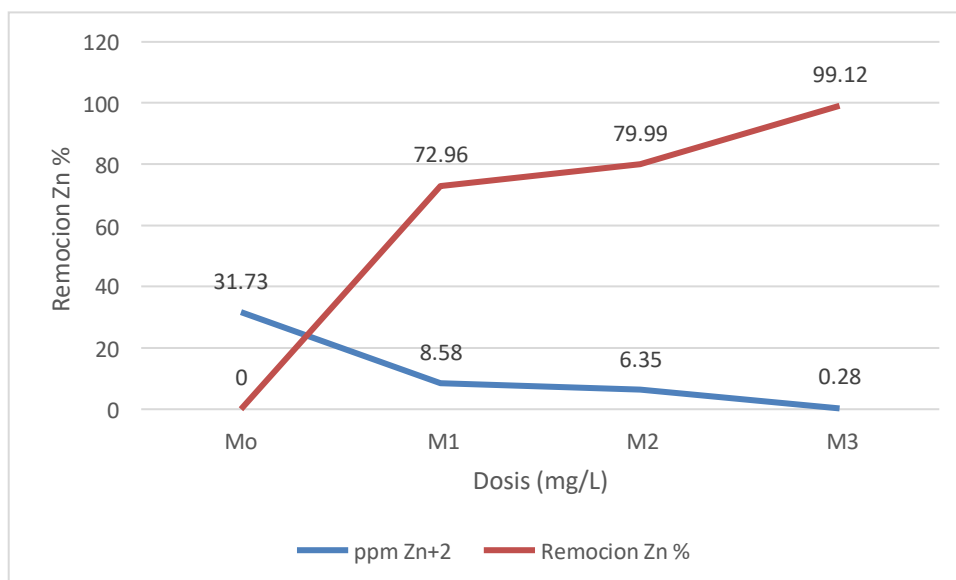
La figura nos muestra la secuencia de precipitación del Arsénico desde 0.33 mg/L hasta un 0,19% a 30 mg/L de saponinas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Efecto de la dosis *sapindus saponaria* en la remoción de Cobre a pH 8.

Nos muestra que el Cobre inicia su remoción a partir de la dosis de 10 mg/L de saponina hasta un 77.88% a medida que aumenta la dosis de saponinas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Efecto de *sapindus saponaria* en la remoción de Zinc a pH 8.

La figura nos muestra que la dosis de saponinas tiene efecto positivo en la remoción del Zinc, hasta un 99.12%.

Análisis estadístico

Tabla 3. Comparaciones múltiples entre niveles de la variable dosis de saponina mediante prueba post hoc HSD Tukey^{a,b} para el elemento **Arsénico**

Dosis	N	Subconjunto		
		1	2	3
10 mg/L	3	,2733		
20 mg/L	3		,2233	
30 mg/L	3			,1933
Sig.		,535	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

Se observa diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las medias calculadas de concentración de arsénico entre el tratamiento ensayados a dosis de saponina de 10 mg/L, 20 mg/L y 30 mg/L

Tabla 4. Comparaciones múltiples entre niveles de la variable dosis de saponina mediante prueba post hoc HSD Tukey^{a,b} para el elemento cobre.

Dosis	N	Subconjunto		
		1	2	3
10 mg/L	3	2,9133		
20 mg/L	3		2,6000	
30 mg/L	3			2,4000
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 7,778E-5.

Se observa diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las medias calculadas de concentración de cobre en los tres tratamientos ensayados de dosis de saponina.

Tabla 5. Comparaciones múltiples entre niveles de la variable dosis de saponina mediante prueba post hoc HSD Tukey^{a,b} para el elemento **Zinc**

Dosis	N	Subconjunto		
		1	2	3
10 mg/L	3	8,5766		
20 mg/L	3		6,3466	
30 mg/L	3			0,2833
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = .05.

Se observa diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las medias calculadas de concentración de Zinc en los tres tratamientos ensayados de dosis de saponina.

V. DISCUSION

Los resultados de la tabla 2, muestran el efecto de la *Sapindus saponaria* en el porcentaje de remoción de MP.

Los resultados concuerdan también con los encontrados por Abdullah et al., (2019), quien manifiesta que el efecto positivo en la remoción de metales pesados en solución utilizando sustancias vegetales como coagulantes y floculantes que unen los iones metálicos formando flóculos, ocasionando su precipitación y remoción en forma de lodos, la desventaja es la generación de grandes cantidades de lodos residuales.

Samaz et al. (2015), en su estudio sustenta que la utilización de especies vegetales como la *Lemna minor* en el tratamiento de agua contaminada por metales, muestran que las macrófitas presentan elevada capacidad de remoción para cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn) y arsénico (As), lo cual ayuda a sustentar los resultados obtenidos en la presente investigación.

LUGO Castañeda (2017), utilizando el tanino modificado Acacia obtuvo eficientes resultados en la remoción de metales como el cobre, cromo y mercurio a condiciones de pH alcalino logrando el mayor porcentaje de remoción de todos los metales y con una dosis taninos

En cuanto a la remoción del arsénico observamos que a medida que aumenta la dosis de *sapindula saponaria*, aumenta el porcentaje de remoción hasta un 42.42% a una dosis de *Sapindus saponaria* de 30 mg/L; resultado similar al reportado por Francisca y Carro (2014), quienes obtuvieron una remoción del 85 % a un pH original del agua de 8.16. Resultados que coinciden con los obtenidos por Santos et al. (2017), quien analizó el efecto en la remoción de arsénico (As V) en disolución por la biomasa modificada del *Aspergillus niger*, obteniendo una bioadsorción (69% con 1 ppm de arsénico) a las 24 horas y 1 g de biomasa modificada, a más alta concentración de arsénico aumento la remoción y al elevar la dosis del bioadsorbente, se obtuvo mejor remoción (96% con 5 g de biomasa). Del mismo modo Méndez et al. (2013), concluye que el arsénico muestra alto porcentaje de adsorción, así como otros metales

como el Cu, Pb, Zb y As, mayor adsorción a medida que aumenta a pH 8.0, y menos adsorción (desorción) en condiciones ácidas. Fernández et al. (2018), concluye que la acidez es el parámetro más significativo a considerar en la remoción, pues influye en la disolución de los metales. Así mismo Cárdenas-González et. al. (2015) citado por Santos et al. (2017); concluye que el arsénico, es removido eficazmente a un pH de 8.0, a consecuencia que se ioniza como H_2AsO^{-3} y formando complejos con la biomasa utilizada. Del mismo modo, Arcos y Vivar (2014) evaluaron la acción de saponinas obtenidas de la raíz del Agave americana para remediar de aguas contaminadas con Cr+6 y As+3, logrando una eficacia del 64,41% en la remoción de As+3, en consecuencia, recomienda que el Agave americana se utilice como una fuente significativa de saponinas para la remoción de As+3 y Cr+6 presentes en aguas residuales.

La remoción del cobre se inició a la dosis de 10 mg/L y fue aumentando a medida que aumentaba la dosis de *Sapindus saponaria*, desde 70.06% a 75.93% y 70.78% a 10 mg/L, 20 mg/L y 30 mg/L respectivamente. Encontrándose similitud con Rodríguez Gámez (2020, pp.511-526), quien reporto que los resultados de remoción de cobre de aguas contaminadas usando el biosurfactante ramnolípidos, obtuvo resultados similares a los logrados en otros trabajos de investigación, evaluando la efectividad de los surfactantes en la separación de cobre de disímiles medios contaminados, logrando la eliminación máxima de cobre (46 %) al usar 2 % de solución de ramnolípidos en suelo lavado contaminado con metales pesados, en tanto Dahrazma y Mulligan et al, (2007) lograron eliminar hasta 37 % de cobre presente en depósitos contaminados cuando valoraron el efecto de biosurfactantes ramnolípidos, para tratar sedimentos contaminados (Ciesla, et al., 2018, p.1). Del mismo modo Méndez et al. (2013) en su estudio de la adsorción del Cu, Zn, Pb y As, en el tema específico del Cu, indica más alta adsorción se observó a mayor concentración de biomasa. Del mismo modo, Alcázar et al (2014) desarrolló un procedimiento de remoción de Cu(II), utilizando como biosurfactante extractos de pulpa de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), rica en saponinas, obteniendo una eficiencia de remoción del 98.7%, recomendando reemplazar los agentes tensoactivos químicos por

extractos de lechuguilla (*A. lechuguilla*), en la remoción de Cu (II).

Asimismo, el Zn presenta una mayor variación de concentración, por cuanto pugna aceleradamente con el Cu por los espacios de adsorción y tiende a disminuir la adsorción de Cu a ambientes básicos. Del mismo modo, Aguilar y Flores (2018). en su investigación, Evaluación de la cáscara de naranja (*citrus cinensis*) como material adsorbente natural de ion metálico Cu (II), indican que la mejor eficiencia en el proceso de adsorción de Cu (II) fue del 35.6447% de remoción en un tiempo de 2 horas.

Así mismo, Alcázar et al. (2014), en su investigación utilizó como biosurfactante extractos de hojas de lechuguilla (*Agave lechuguilla Torr.*) rica en saponinas, para la remoción de cobre logrando una eficiencia media de remoción (98.7%) en los experimentos realizados a: 0.1 - 2 g extracto/g de metal, T°=22°C, pH = 8.0 y agitación de 600 rpm.

En cuanto a la remoción del zinc se observa que se inicia a una dosis de *sapindula saponaria* de 10 mg/L y va aumentando la remoción a conforme aumenta la dosis de *Sapindus saponaria*. Varios estudios sustentan la utilización de especies vegetales como la *Lemna minor* en la remoción de metales, entre ellos el estudio realizado por Samaz et al. (2015), donde muestran que las macrófitas presentan elevada capacidad de remoción para cobre, plomo, zinc y arsénico. Del mismo modo, Samaz et al. (2015), en su estudio sustenta que la utilización de especies vegetales como la *Lemna minor* en el tratamiento de agua contaminada por metales, muestran que las macrófitas presentan elevada capacidad de remoción para cobre, plomo, zinc y arsénico, lo cual ayuda a sustentar los resultados logrados en la presente exploración. Coincidiendo con Magno (2020) en su tesis Eficiencia en la remoción de Plomo y Zinc de aguas residuales industriales del proceso de explotación minera mediante la aplicación de Alginato de Algas Pardas (*Macrocystis Pyrifera*) químicamente modificado, muestran que el biomaterial a pH 8.0 logro una remoción del 91.29% de Zinc. Del mismo modo coincide con el estudio de Vitor (2019) quien obtuvo mejor eficiencia en la remoción del Zinc, a medida que aumentaba el tiempo de retención hídrica (TRH). logrando eficiencias de 68.0375 % en un TRH de 1h,

eficiencia de 74.2175% en un TRH de 2h y la mayor eficiencia obtenida de 95.9925 % en un TRH de 3h; a consecuencia de la propiedad de la lignina que absorbió al Zinc en las paredes de la fibra de cabuya, removiendo así su concentración en la muestra tratada.

Los análisis iniciales de la muestra de agua acida extraída de la relavera, muestran una concentración de metales pesados que superan los límites permitidos por el estándar de calidad ambiental para agua, se consideraron en la presente investigación, arsénico con 0,33 mg/L, cobre con 10.80 mg/L y zinc con 31,73 mg/L de concentraciones iniciales; y después del tratamiento se han removido en 42.42, 77.78%, 92,12% respectivamente, lo cual nos va a permitir aceptar que existe un efecto de la dosis de *Sapindus saponaria*, en la remoción de metales pesados contenidos en las aguas acidas de la relavera.

VI. CONCLUSIONES

Se evaluó que la dosis de *Sapindus saponaria* a pH 8, constante, presenta efectos favorables en la remoción de arsénico, cobre y zinc en aguas ácidas de la relavera de la mina Shorey – Quiruvilca.

El arsénico, cobre y zinc fueron removidos de la muestra de aguas ácidas de la relavera Shorey-Quiruvilca, como efecto de la dosis *Sapindus saponaria*, logrando una remoción de 42.42% del arsénico, el 77.78% del cobre, 99.12% del zinc.

La dosis de *sapindus saponaria* de 30 mg/L a pH, 8 presentó el mayor porcentaje de remoción 99.12%

Los tratamientos realizados muestran el efecto de la dosis de *sapindus saponaria* en la remoción de arsénico, cobre y zinc de las aguas ácidas de la relavera Shorey – Quiruvilca.

VII. RECOMENDACIONES

Los resultados del análisis inicial de la muestra de aguas ácidas del pasivo minero relavera Santa Catalina, Shorey, Quiruvilca, indican la necesidad de exigir a las autoridades el tratamiento para la remoción de MP y evitar que contaminen las escorrentías hacia el valle Santa Catalina.

Aplicar sustancias naturales y variar acidez de las aguas ácidas del pasivo minero relavera Santa Catalina, Shorey, Quiruvilca, in situ, para precipitar un alto porcentaje de los metales pesados y evitar la contaminación por sus aguas del valle Santa Catalina.

Realizar trabajos de remoción de MP de las aguas ácidas del pasivo minero relavera Santa Catalina, Shorey, Quiruvilca, empleando otras sustancias orgánicas biodegradables.

Realizar investigaciones de remoción a otras dosis y grados de acidez diferentes y observar su efecto en la remoción de MP.

REFERENCIAS

- ADUVIRE, Osvaldo. Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas acidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico. *REV. MAMYM* [online]. 2019, vol.4, n.1 [citado 2023-05-08], pp.55-64. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000100006&lng=es&nrm=iso. ISSN 2519-5352.
- ADUVIRE, Osvaldo. Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas acidas de mina. *REV. MAMYM* [online]. 2018, n.5 [citado 2023-05-08], pp.1-11. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522018000200001&lng=es&nrm=iso . ISSN 2519-5352.
- ADUVIRE, O., MORENO, C., ALBERRUCHE, E., LACAL, M. y VADILLO, L. Effects of precipitation of secondary Fe(III) minerals and dilution on the attenuation of acid drainages; mining area of Spain. *MineClosure* [online] 07, 2007. Santiago (Chile), 16-19 October 2007. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/mamym/v4n1/v4n1_a06.pdf
- AGUILAR SALAS, Melizza Beatriz, FLORES RODRIGUEZ, Cynthia Pamela. Evaluación de la cáscara de naranja (*citrus cinensis*) como material adsorbente natural de ion metálico Cu (II). Tesis para optar el título de ingeniero, Universidad Nacional De San Agustín, Arequipa, 2018. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/06e679d2-1af2-4143-83ec-eae8ccc4952e/content>
- ALARCÓN, K. L. Extracción de saponinas del fruto de la *Sapindus saponaria* (choloque), y sus aplicaciones. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación* [online] 2016 3(1), 37-41. <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/356>
- AMAYA A., BAZAN E., RUEDA L., SOLANO A. Capacidad de adsorción de metales pesados por *saccharomyces cerevisiae* en un efluente minero de Shorey, distrito de Quiruvilca, La Libertad. [En línea]. Tesis (Bachiller). Universidad Cesar Vallejo, 2018. [Fecha de consulta: 30 de mayo 2023]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33463/amaya_ba.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- ARCOS Pérez, Gabriel Alexander y Vivar Robles, Alejandra Estafanía. Evaluación de la actividad de las saponinas extraídas de Agave americana como agentes precipitantes y coadyuvantes para la remediación de aguas contaminadas con cromo hexavalente y arsénico. Universidad Salesiana. Ecuador, 2015. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9405>
- BANUELOS-VALENZUELA, Rómulo et al. Composición química y FTIR de extractos etanólicos de Larrea tridentata, Origanum vulgare, Artemisa ludoviciana y Ruta graveolens. *Agrociencia* [online]. 2018, vol.52, n.3 [citado 2023-10-09], pp.309-321. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000300309&lng=es&nrm=iso . ISSN 2521-9766.
- BURCIAGA-MONTEMAYOR, Nidia G. et al. Compósitos en estado hidrogel con aplicación en la adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales. *TIP* [online]. 2020, vol.23 [citado 2023-12-08], e20200211. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2020000100202&lng=es&nrm=iso . Epub 20-Jun-2020. ISSN 1405-888X. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.211>.
- BRUGUERA AMARAN, Noel Caridad et al. Impacto de los pasivos ambientales en la red hidrográfica de la región minera de Santa Lucía, Minas de Matahambre, Cuba. *Ing. hidrául. ambient.* [online]. 2022, vol.43, n.1 [citado 2023-04-24], pp.63-78. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382022000100063. Epub 22-Feb-2022. ISSN 1680-0338.
- CASTILLO UNGARO, Ricardo; PULIDO CAPURRO, Víctor; CANO COA, Dominga Micaela y OLIVERA CARHUAZ, Edith. Uso de Hipoclorito de Sodio para Disminuir la Concentración de Mn²⁺ en Aguas Ácidas de Mina para el Mejoramiento de la Calidad del Agua del Río Yauli, Junín, Perú. *Rev. investig. Altoandin.* [online]. 2022, vol.24, n.3 [citado 2023-12-08], pp.208-219. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572022000300208&lng=es&nrm=iso . Epub 25-Ago-2022. ISSN 2313-2957. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.440>.
- COGOLLO Alvarado, Kevin Andrés, Vladimir Fedor Barraza Polo.2014. Bondades Del Fruto Del Jaboncillo (Sapindus Saponaria) Como Un Detergente

Biodegradable. <https://cienciaybiologia.com/bondades-del-fruto-del-jaboncillo-sapindussaponaria-como-un-detergente-biodegradable/>

- CUENTAS ALVARADO, Mario; VELASQUEZ VIZA, Owal; ARIZACA AVALOS, Américo y HUISA MAMANI, Fidel. Evaluación de riesgos de pasivos ambientales mineros en la comunidad de Condoraque - Puno. *REV. MAMYM* [online]. 2019, vol.4, n.2, pp.43-57. ISSN 2519-5352. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522019000200004&script=sci_arttext
- CUIZANO, Norma A. et al. Relevancia del PH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas. *Rev. Soc. Quím. Perú* [online]. 2010, vol.76, n.2 [citado 2023-06-18], pp.123-130. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000200002&lng=es&nrm=iso . ISSN 1810-634X.
- DEBNATH S., BALLAV N., MAITY A. and PILLAY K. Competitive adsorption of ternary dye mixture using pine cone powder modified with β -cyclodextrin. *Journal of Molecular Liquids* [online] 2017, 225: 679-688. Disponible en: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-297f80d9-4514-3589-bafa-34523df892ea>
- DECRETO SUPREMO-N° 077-2018-PCM. Decreto Supremo que declara el Estado de Emergencia en los Centros Poblados de relaveras de la Unidad Minera de Quiruvilca [online]. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-declara-el-estado-de-emergencia-en-los-c-decreto-supremo-n-077-2018-pcm-1674960-2/>
- DESCOSTES, M., Vitorge, P. and Beaucaire, C. 2004. Pyrite dissolution in acidic media. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68, 4559-4569. Disponible en: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/BGM122-2-259.pdf>
- DOLEŽALOVÁ, H.; MIHOČOVÁ, S.; CHOVANEC, P.; PAVLOVSKÝ, J. Potential Ecological Risk and Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Industrial Affected Soils by Coal Mining and Metallurgy in Ostrava, Czech Republic. *International journal of environmental research and public health* [online] 2019, 16(22): 4495. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/22/4495>
- DOS SANTOS, V.; VARÓN-LÓPEZ, J.; FONSÊCA, C.; LOPEZ, P.; SIQUEIRA, J.; DE SOUZA, F. Biological attributes of rehabilitated soils contaminated with heavy metals. *Environmental Science and Pollution*

- Research* [online] 2016, 23: 6735-6748. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26662102/>
- DUANY-TIMOSTHE, Sara; ARIAS-LAFARGUE, Telvia; BESSY-HORRUITINER, Taimi y RODRIGUEZ-HEREDIA, Dunia. Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados. Revisión. *RTQ* [online]. 2022, vol.42, n.1 [citado 2023-06-02], pp.94-113. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852022000100094&lng=es&nrm=iso . Epub 30-Abr-2022. ISSN 2224-6185.
 - FERNANDEZ VILLALON, Magda; CALZADO LAMELA, Orlindes; CASCARET CARMENATY, Dannis Adrian y PEREZ SILVA, Rosa María. Factores de mayor influencia en la adsorción de metales pesados por biomasa seca de *Kluyveromyces Marxianus* CCEBI 2011. *RTQ* [online]. 2018, vol.38, n.2 [citado 2023-12-10], pp.335-345. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200011
 - GOMERO GONZALES, Nicko A. Influencia transversal de los commodities mineros en la economía peruana bajo un enfoque global. *Quipukamayoc* [online]. 2021, vol.29, n.59 [citado 2023-04-22], pp.25-34. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-81962021000100025&lng=es&nrm=iso. Epub 27-Mayo-2021. ISSN 1560-9103. <http://dx.doi.org/10.15381/quipu.v29i59.20420>.
 - GONZALES Jiménez, Alejandro Eder y GUERRA Moreno, Julio Cesar. en su trabajo Influencia de la velocidad de agitación y la temperatura sobre la adsorción de plomo (Pb) y zinc (Zn) con cáscara de plátano (*Musa Sapientum*), en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico, Tesis para obtener el título de Ingeniero. Universidad Nacional de Trujillo. 2016. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/292159d2-3fc1-43c6-87d3-2d79c07c3d1c/content>
 - HUARANGA MORENO, Félix R; RODRIGUEZ RODRIGUEZ, Eric F; MENDEZ GARCIA, Eduardo F y BERNUI PAREDES, Feliciano. Especies bioindicadoras de contaminación por relaves mineros en el Sector Samne, La Libertad-Perú, 2021. *Arnaldoa* [online]. 2021, vol.28, n.3 [citado 2023-04-22], pp.633-650. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-

- 32992021000300633&lng=es&nrm=iso>. Epub 31-Dic-2021. ISSN 1815-8242. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28310>.
- Informe N° 130-2018-ANAA.A.A.-H-CH/ALA MOCHE VIRÚ-CHAO/AT/CAJM-PERH, del 26 de junio de 2018. Disponible en: <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/R.J.%20196-2018-ANA.pdf>
 - KIM, G.; IGUNNU, E. y CHEN, G. Una célula fotoelectroquímica de doble propósito asistida por luz solar para la eliminación de metales pesados y contaminantes orgánicos en aguas residuales a baja tensión, *Chemical Engineering Journal* [online] 2014, 244, 411-421. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894714001156>
 - KLEIN, R., TISCHLER, J. S., MUHLING, M., & SCHLOMANN, M. Bioremediation of mine water. *Advances in Biochemical Engineering-Biotechnology* [online] 2013, 141, 109-172. Disponible en: <https://europepmc.org/article/med/24357145>
 - KRUGMAN, P. y OBSTFELD, M. (2006). *Economía Internacional. Teoría y política* [online] 7ª ed. Madrid. Editorial: Pearson Educación. [Fecha de consulta mayo 2023 Disponible en: <https://rodrigo.files.wordpress.com/2019/03/economia-internacional-paul-krugman-ed-9.pdf>
 - LAVADO-MEZA, Carmencita; SUN-KOU, María R.; CASTRO-ARROYO, Tracy Kate and BONILLA-MANCILLA, Humberto Dax. Biosorción de plomo (II) en solución acuosa con biomasa de los cladodios de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Rev.Colomb.Quim.* [en línea]. 2020, vol.49, n.3 [citado el 15-05-2023], pp.36-46. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042020000300036&lng=en&nrm=iso Epub 20 de diciembre de 2020. ISSN 0120-2804. <https://doi.org/10.15446/rcq.v49n3.85823>
 - LONDOÑO-FRANCO, Luis Fernando; LONDONO-MUNOZ, Paula Tatiana and MUNOZ-GARCIA, Fabián Gerardo. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Rev.Bio.Agro* [en línea]. 2016, vol.14, n.2 [citado el 10-05-2023], pp.145-153. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612016000200017&lng=en&nrm=iso . ISSN 1692-3561. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153) .
 - LÓPEZ-SÁNCHEZ, Lina Marleny; LOPEZ-SANCHEZ, Mary Luz and

- MEDINA-SALAZAR, Graciela. La prevención y mitigación de los riesgos de los pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia: una propuesta metodológica. *Entramado* [en línea]. 2017, vol.13, n.1 [citado el 24-04-2023], pp.78-91. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-38032017000100078
- LLANOS, C. (2017). Capacidad fitoextractora de *Amaranthus L.* y micorrizas en suelos contaminados con metales pesados, Sector Shorey, Quiruvilca, Santiago De Chuco, La Libertad (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22492>
- Magno Vargas, Jennifer Sheila, en su investigación, Eficiencia en la remoción de Plomo (Pb) Y Zinc (Zn) de aguas residuales industriales del proceso de explotación minera mediante la aplicación de Alginato de Algas Pardas (*Macrocystis Pyrifera*) químicamente modificado, tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental, Universidad Universidad Union, 2020. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3410/Jennifer_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- MARCELO, J. (2017). Capacidad fitorremediadora de *Urtica urens L.* en suelos con metales pesados del sector Campanario, Quiruvilca, Santiago De Chuco, La Libertad (Tesis de pre grado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22493>
- MENDEZ-ORTIZ, Blanca Adriana; CARRILLO-CHAVEZ, Alejandro; MONROY-FERNANDEZ, Marcos Gustavo y LEVRESSE, Gilles. Influencia del pH y la alcalinidad en la adsorción de As y metales pesados por oxihidróxidos de Fe en jales mineros de tipo skarn de Pb-Zn-Ag. *Rev. mex. cienc. geol* [online]. 2012, vol.29, n.3 [citado 2023-12-10], pp.639-648. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-877420120003000009&lng=es&nrm=iso. ISSN 2007-2902
- MOGHAZY R., LABENA A., y HUSIEN Sh. "Eco-friendly complementary biosorption process of methylene blue using micro-sized dried biosorbents of two macro-algal species (*Ulva fasciata* and *Sargassum dentifolium*): Full factorial design, equilibrium, and kinetic studies", *International Journal of*

- Biological Macromolecules* [en línea] 2019, vol. 134, pp. 330-343. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31054306/>
- PABÓN, SE; BENÍTEZ, R.; SARRIA, RA y GALLO, JA. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería* [en línea]. 2020, vol.14, n.27 [citado el 10-05-2023], pp.9-18. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso. Epub 20 de marzo de 2021. ISSN 1909-8367. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
 - PÉREZ-SIRVENT, C.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, C.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, M.; GARCÍA-LORENZO, M.; BECH, J. Metal uptake by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Journal of Soils and Sediments* [en línea] 2017, 17: 1384-1393. Disponible en: <https://link.springer.com/journal/11368/17/5/page/1>
 - POZO-ANTONIO, José Santiago; PUENTE, Iván; LAGUELA, Susana y VEIGA, María. Tratamiento microbiano de aguas ácidas resultantes de la actividad minera: una revisión. *Tecnol. cienc. agua* [online]. 2017, vol.8, n.3 [citado 2023-05-08], pp.75-91. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222017000300075&lng=es&nrm=iso>. ISSN 2007-2422. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-05>.
 - RAJASULOCHANA, P., & Preethy, V. (2016). Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review. *Resource-Efficient Technologies*, 2(4), 175-184. <https://doi.org/10.1016/J.REFFIT.2016.09.004>.
 - RANGABHASHIYAM, S., Lata, S. & Balasubramanian, P. (2018). Biosorption characteristics of methylene blue and malachite green from simulated wastewater onto Carica papaya wood biosorbent. *Surfaces and Interfaces*, 10, 197-215. doi:10.1016/j.surfin.2017.09.011. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468023017301086>
 - RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 010 — 2016 — ANA. Disponible en: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j_010-2016-ana_0.pdf
- RIOS MARÍN, Felipe; PENA SALAMANCA, Enrique Javier and BENITEZ BENITEZ, Ricardo. Efecto del pH en las tasas de bioacumulación de metales pesados en la macroalga *Bostrychia calliptera* (Rhodomelaceae,

- Ceramiales). *Acta biol.Colomb.* [en línea]. 2021, vol.26, n.2 [citado el 18-06-2023], pp.226-234. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2021000200226&lng=en&nrm=iso . Epub 18 de enero de 2022. ISSN - 0120-548X. <https://doi.org/10.15446/abc.v26n2.84142> .
- RODRÍGUEZ, J., BRIONES, C., BAQUERIZO, M., & RODRÍGUEZ, J. Remoción de metales pesados en agua residuales. *Revista multidisciplinaria de investigación* [online] 2017, 1(11). Guayaquil, Ecuador. Disponible en: http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/198/1/Vitor_John_Trabajo_Suficiencia_2019.pdf
 - RODRIGUEZ-GAMEZ, Odalys et al. Remoción de cobre de aguas contaminadas empleando ramnolípidos. *Rev Cub Quim* [online]. 2020 vol.32, n.3 [citado 2023-05-10], pp.511-526. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212020000300511&lng=es&nrm=iso Epub 03-Dic-2020. ISSN 2224-5421.
 - RODRIGUEZ HEREDIA, Dunia. Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN* [online]. 2017, vol.21, n.12 [citado 2023-06-02], pp.3372-3385. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012&lng=es&nrm=iso . ISSN 1029-3019.
 - ROMERO ARRIBASPLATA, Maggy Belén y Bravo Thais, Sebastian Cossi. 2021. Estudio del potencial de acumulación de metales pesados de plantas nativas peruanas para la fitorremediación de pasivos mineros. [online]. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú Facultad de Ciencias e Ingeniería [Fecha de consulta, mayo 2023]. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/19519/ROMERO%20ARRIBASPLATA_MAGGY_ESTUDIO_POTENCIAL_ACUMULACION.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 - SANTOS-DOMINGUEZ, Erik E; VARGAS-MORALES, Juan M; CARDENAS-GONZALEZ, Juan F y ACOSTA-RODRIGUEZ, Ismael. Remoción de Arsénico (V) en Solución Acuosa por Biomasa Modificada del Hongo *Aspergillus niger*. *Inf. tecnol.* [online]. 2017, vol.28, n.6 [citado 2023-12-10], pp.45-52. Disponible en:

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000600006&lng=es&nrm=iso . ISSN 0718 - 0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000600006>.

- SONNTAG, H. (2007). Problem sulfat in der spree - stand der diskussion und aktuelle trends (pp. 151-156). In: *Proceedings of the 58. [online] Berg- und Hüttenmännischer Tag -Behandlungstechnologien für bergbaubeeinflusste Wässer / GIS- Geowissenschaftliche Anwendungen und Entwicklungen. Universidad Técnica Bergakademie Freiberg, Freiberg, Alemania. 14-15 Junio 2017.*
- SOURCE INTERNACIONAL. Estudios en poblaciones afectadas por metales pesados en Pasco: SOURCE INTERNATIONAL DE ITALIA • Flaviano Bianchini - Ecologista y naturalista • Laura Grassi - Científica ambiental Vía Ruschi [online] 2018, 72, 56011 - Calci (PI) Italia E-mail: info@source-international.org, disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4957.pdf>
- SOTO, Eduardo; MIRANDA, Rosa del C; SOSA, César A y LOREDO, José A. Optimización del Proceso de Remoción de Metales Pesados de Agua Residual de la Industria Galvánica por Precipitación Química. *Inf. tecnol.* [online]. 2006, vol.17, n.2 [citado 2023-12-08], pp.33-42. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000200006&lng=es&nrm=iso . ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000200006>.
- TEJADA Tovar, C., Villabona Ortiz, Á. & Garcés Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109-123. DOI:10.22430/22565337.209. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Adsorci%C3%B3n-de-metales-pesados-en-aguas-residuales-de-Tejada-Tovar-Villabona-Ortiz/748fce891c95f1f955e7a75d93b3f84b0ef18156>
- VICUNA GALINDO, Eder C. y SOTO HUAMAN, Alissa. Optimización del proceso de remoción de PB 2+ y ZN 2+ por el material adsorbente- floculante neonite MR. *Rev. Soc. Quím. Perú* [online]. 2021, vol.87, n.4 [citado 2023-12-07], pp.370-385. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2021000400370&lng=es&nrm=iso . ISSN 1810-634X. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.362>.
- WAISBERG, M., JOSEPH, P., HALE, B. y BEYERSMANN, D. Mecanismos

moleculares y celulares de la carcinogénesis del cadmio. *Toxicología* [online] 2013, 3(4), pág. 95-117. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14580780/>

- VITOR Yance, John Jonathan, “CAPACIDAD ADSORSIVA DE LA FIBRA DE CABUYA (*Furcraea andina*), EN LA BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON ZINC”, trabajo para obtener el título de Ingeniero Ambiental. UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR, 2019. Disponible en: https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/198/1/Vitor_John_Trabajo_Suficiencia_2019.pdf
- ZAMORA GASGA, Víctor Manuel et al. *ALAN* [online]. 2017, vol.67, n.1 [citado 2023-06-23], pp.06-14. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000100002&lng=es&nrm=iso . ISSN 0004-0622.
- ZAMORA ECHENIQUE, Gerardo y MEZA DUMAN, Ruth. Formación, prevención e innovación en el tratamiento de drenajes ácidos en operaciones mineras. *REV. MAMYM* [online]. 2022, vol.7, n.1 [citado 2023-05-16], pp.3-20. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522022000100001&lng=es&nrm=iso ISSN 2519-5352.
- ZAMORA ECHENIQUE, Gerardo y MATA CALCINA, Jenny. Estudio técnico de la recuperación de un producto comerciable de Zinc mediante desulfatación, dren anóxico calizo y precipitación de las aguas ácidas de la mina de Porco PARTE I. *REV. MAMYM* [online]. 2017, n.2 [citado 2023-12-08], pp.56-66. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522017000100005&lng=es&nrm=iso . ISSN 2519-5352.
- ZHANG, Q.; YU, R.; FU, S.; WU, Z.; CHEN, H.Y.H.; LIU, H. Spatial heterogeneity of heavy metal contamination in soils and plants in Hefei, China. *Scientific Reports* [online] 2019, 9(1): 1-8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30705298/>
- Zúñiga Martínez, S., Ibáñez Hernández, O. F., Salas Plata Mendoza, J. A., Flores Tavizón, E., & Velázquez Angulo, G. (2022). Métodos de remoción de metales en aguas para consumo humano: Una revisión. *Cultura Científica Y Tecnológica*, 19(2), 12-27. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2022.2.3.1>

ANEXOS

Cálculo de la dosis de saponina:

La solución madre de concentración 0.6% = 600 mg/100 mL

En 20 mL de solución madre hay 120 mg de saponina

Preparación de la dosis a 10 mg/L, 20 mg/L y 30 mg/L

Se tomaron 900 mL de agua acida de la relavera Shorey-Quiruvilca a la que se preparó a las 3 dosis de saponina y luego se dividido en 3 partes de 300 mL cada una.

Calculo:

$$(20 \text{ mL}/120 \text{ mg}) 9 \text{ mg} = 1.5 \text{ mL de solución madre}$$

$$(20 \text{ mL}/120 \text{ mg}) 18 \text{ mg} = 3.0 \text{ mL de solución madre}$$

$$(20 \text{ mL}/120 \text{ mg}) 27 \text{ mg} = 4.5 \text{ mL de solución madre}$$

Estas dosis se añadieron a 900 ml y luego se dividieron en 3 de 300 mL cada una (repeticiones) obteniendo las 3 muestras a las dosis requeridas

Tabla A1. Operacionalización de variables

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Independiente: Concentración de saponina	Cantidad de saponina como soluto en solución	Se extraerá la saponina, pesando previamente 50 gramos de la cascara de <i>Sapindus saponaria</i> (Choloque) medición del grado brix o concentración porcentual de sólidos y adicionado a las muestras en las proporciones de 10, 20 y 30 mg/L Respectivamente	mg/L	De razón
Dependiente Remoción de metales pesados	Cantidad de metales removidos de las aguas acidas	Después del tratamiento cada una de las tres muestras se filtrarán al vacío y el filtrado de cada tratamiento será llevada al laboratorio para el análisis de metales pesados por el método de emisión Atómica	mg/L	De razón

Tabla A2. Instrumento de recolección de datos

PROYECTO DE INVESTIGACION								
“Efecto del <i>Sapindus saponaria</i> y pH en la remoción de metales pesados en aguas acidas del pasivo minero Quiruvilca”								
Línea de Investigación								
Calidad y Gestión de los Recursos Naturales								
DATOS GENERALES								
Facultad de Ingeniería y Arquitectura		Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental				Universidad Cesar Vallejo		
Departamento		Provincia			Distrito			
La Libertad		Trujillo			Víctor Larco			
DATOS DE LA PRUEBA								
Fecha de toma de muestra								
pH del agua								
Conductividad								
Temperatura								
Concentración usada	0.0% <i>Sapindus saponaria</i>		10.0% <i>Sapindus saponaria</i>		20% <i>Sapindus saponaria</i>		30% <i>Sapindus saponaria</i>	
pH	8.0		8.0		8.0		8.0	
Grupos	Go		G1		G2		G3	
		Co%		C1%		C2%		C3%
Numero de replicas	3	3	3	3	3	3	3	3
Concentración								
% de remoción								
Interpretación								
Responsable de la prueba		Firma		Verificado por		Firma		

CODIGO: UCV-01

FICHA DE OBSERVACIÓN

“Remoción de metales pesados en aguas acidas del pasivo minero Shorey - Quiruvilca utilizando *Sapindus saponaria* y variación de pH”

Introducción:

La siguiente ficha se ha diseñado bajo el estudio de las diferentes variables puestas en análisis. Previamente se necesita asegurarse que los instrumentos de medición estén correctamente calibrados puesto que cualquier variación influirá en los resultados. Cabe resaltar que los datos descritos en los siguientes cuadros serán tomados en un periodo no mayor a las 24 h desde la toma de muestra de efluentes mineros.

Tabla A3: Información general

Información General

Fecha de recolección de muestra	M-001
Ubicación (UTM)	
Distrito Quiruvilca	Relavera Santa Catalina
Fecha de entrega de muestra	13/09/23
Solicitante	Castillo Tafur, Anderson Daniel
Encargado de laboratorio	LABORATORIO: LABMINPERU

Tabla A4. Medición de los parámetros

Parámetros	Valores
pH	8.0
Concentración de <i>Sapindus saponaria</i>	

**Tabla A5. Estándar de calidad Ambiental para del agua (ECA)
Categoría 3: Riego de Vegetales y bebida para animales**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego No restringido (C)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FISICOS - QUIMICOS				
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
pH				
INORGANICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,2
Hierro	mg/L	5		**
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Zinc	mg/L	2		24

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

Tabla A6. Estándar de calidad Ambiental para del agua (ECA)

Categoría 3: Riego de Vegetales y bebida para animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales	Agua de Relavera Santa Catalina	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
		Agua para riego No restringido (C)	Agua para riego restringido	Bebida de animales	Muestra 0			
FISICOS - QUIMICOS						Promedio	Promedio	Promedio
pH					3.98	8.0	8.0	8.0
INORGANICOS								
Cobre	mg/L	0,2		0,2	10.80	2.91	2.60	2.40
Zinc	mg/L	2		24	31.73	8.58	6.35	0.28
Arsénico	mg/L	0,1		0,2	0.33	0.27	0.22	0.19

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM / Resultados de Laboratorio LABMINPERU



CADENA DE CUSTODIA

TOMA DE MUESTRAS DE AGUA PARA ANALISIS FISICOQUIMICO Y/O BACTERIOLOGICO

FECHA: 13/09/23	SOLICITANTE: CASTILLO TAFUR, ANDERSON DANIEL	PROYECTO: DESARROLLO DE TESIS.
	DIRECCION: QUITUVILCA	LOCALIDAD: SHOREX
	CONTACTO:	TEL:
		E-MAIL:

N° MUESTRA	COD.	FECHA MUESTREO	HORA	TEMP° AMBIENTE	ORIGEN DE LA FUENTE	PUNTO DE MUESTREO
1	M-1	13/09/23	11:15	11°C	RELAVERA SANTA CATALINA	8° 01' 24" 78° 18' 56"
2	M-2	13/09/23	11:26	11°C	" " "	8° 01' 30" 78° 18' 51"
3	M-3	13/09/23	11:38	11°C	" " "	8° 01' 35" 78° 18' 48"
4	M-4	13/09/23	11:55	11°C	" " "	8° 01' 40" 78° 18' 32"
5	M-5	13/09/23	12:20	11°C	" " "	8° 01' 29" 78° 18' 31"
6	M-6	13/09/23	12:34	11°C	" " "	8° 01' 17" 78° 18' 37"
7						
8						
9						
10						
11						
12						

1° TOMA LA MUESTRA 13/09/23	PROFESOR Castillo Tafur, Anderson	2° RECIBE LA MUESTRA 13/09/23	ANALISTA [Signature]
--------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-------------------------

Observaciones:

RESULTADOS DE LABORATORIO



INFORME DE ENSAYO 141223-0292

Cliente: CASTILLO TAFUR ANDERSON DANIEL.
Producto descrito como: SOLUCIÓN
Identificación de la muestra: VARIAS
Característica de la Muestra: LIQUIDO
Presentación de Muestra: BOTELLA DE PLASTICO
Tipo de análisis: LOTE
Fecha de Recepción: 14.12.2023
Fecha de Ensayo: Del 14.12.2023 al 15.12.2023

RESULTADOS:

CODIGO DE MUESTRA	CODIGO INTERNO	Cu	Zn	As
		ppm	ppm	ppm
BLANCO	141223-0292	10.80	31.73	0.33
M - 1	141223-0292-1	2.91	8.59	0.28
M - 1	141223-0292-2	2.93	8.62	0.27
M - 1	141223-0292-3	2.90	8.52	0.27
M - 2	141223-0292-4	2.60	6.34	0.22
M - 2	141223-0292-5	2.61	6.31	0.23
M - 2	141223-0292-6	2.59	6.39	0.22
M - 3	141223-0292-7	2.43	0.28	0.19
M - 3	141223-0292-8	2.46	0.29	0.20
M - 3	141223-0292-9	2.31	0.28	0.19

INFORMACIÓN MÉTODO:

CÓDIGO MÉTODO	DESCRIPCIÓN MÉTODO
MLMP-017	Determinación de Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, As, Sb, Cd, Bi por Absorción Atómica en Soluciones Líquidas.


CHRISTIAN MARTIN
WILFAS HUACAS
Ingeniero Químico
CIP 19 223081

Trujillo, 15 de diciembre del 2023

Los resultados arrojados en este informe corresponden únicamente a la cantidad de muestra recibida y ensayada en el laboratorio, no deben ser utilizados como certificación de conformidad con las normas de producto o sistema de calidad. La alteración parcial o total de este documento es penalizada por ley. Cualquier corrección solo podrá ser realizada por LABMIN PERÚ S.A.C reemplazándolo por uno nuevo. Las muestras podrán ser retiradas por los interesados transcurridos los 14 días calendario partir de la fecha de recepción, caso contrario se procederá a rechazarlas.

Análisis estadístico

Tabla A8. Análisis de varianza de un factor en a variable concentración de saponina

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cobre	Entre grupos	79,743	2	39,872	512636,714	,000
	Dentro de grupos	,000	6	,000		
	Total	79,744	8			
Zinc	Entre grupos	982,661	2	491,331	2763735,250	,000
	Dentro de grupos	,001	6	,000		
	Total	982,662	8			
Arsénico	Entre grupos	,023	2	,012	54,526	,000
	Dentro de grupos	,001	6	,000		
	Total	,024	8			

El análisis de varianza resulto ser significativo ($p < 0.05$) entre los niveles evaluados de la variable concentración de saponina para los elementos ensayados, ($P > 0.05$), con un nivel de confianza del 95%

Tabla A9. Comparaciones múltiples entre niveles de la variable concentraciones de saponina mediante prueba post hoc HSD Tukey^{a,b} para el elemento cobre.

Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
10 mg/L	3	2,9133		
20 mg/L	3		2,6000	
30 mg/L	3			2,4000
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 7,778E-5.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = .05.

Se observa diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las medias calculadas de concentración de cobre en los tres tratamientos ensayados de concentración de saponina.

Tabla A10. Comparaciones múltiples entre niveles de la variable concentraciones de saponina mediante prueba post hoc HSD Tukey^{a,b} para el elemento **Zinc**

Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
10 mg/L	3	8,5766		
20 mg/L	3		6,3466	
30 mg/L	3			0,2833
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = .05.

Se observa diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las medias calculadas de concentración de Zinc en los tres tratamientos ensayados de concentración de saponina.

Tabla A11. Comparaciones múltiples entre niveles de la variable concentraciones de saponina mediante prueba post hoc HSD Tukey^{a,b} para el elemento **Arsénico**

Tratamientos	N	Subconjunto		
		1	2	3
10 mg/L	3	,2733		
20 mg/L	3		,2233	
30 mg/L	3			,1933
Sig.		,535	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = .05.

Se observa diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las medias calculadas de concentración de arsénico entre el tratamiento ensayados de concentración de saponina de 10 mg/L, 20 mg/L y 30 mg/L

FOTOGRAFIAS

