

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA MORINGA
(*MORINGA OLEÍFERA*) Y CASCARAS DE NARANJA (*CITRUS
SINENSIS*) PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN LAS
AGUAS DEL RIO CHILLÓN, 2024”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

Gustavo Jean Pierre Anampa Arispe

Jeison Diaz Zamora

Asesor:

Mg. Ing. Luis Enrique Alva Diaz

0000-0003-0470-5908

Lima – Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1	Margeo Javier Chuman Lopez
Presidente(a)	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Marieta Eliana Cervantes Peralta
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Luis Enrique Alva Diaz
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 88 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3148171820




17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 11 palabras)

Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

La presente investigación, está dedicada a nuestros padres, ejemplo de lucha y perseverancia, familiares y amigos que han contribuido con su apoyo, soporte y constante motivación para salir adelante ante las adversidades.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos expresar nuestra profunda gratitud a Dios, quien ha sido nuestra guía y fortaleza a lo largo de todo este proceso. Su sabiduría y amor nos han brindado el apoyo necesario para superar cada desafío y alcanzar esta meta.

A la Universidad Privada del Norte, nuestro más sincero agradecimiento por proporcionarnos el entorno académico y los recursos que han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto. Gracias por fomentar un espacio de aprendizaje y crecimiento, en el que hemos podido expandir nuestros conocimientos y habilidades.

Extendemos un especial agradecimiento al Mg. Ing. Luis Enrique Alva Díaz, nuestro asesor de tesis, por su invaluable guía, paciencia y dedicación. Su experiencia y compromiso con nuestro trabajo han sido esenciales para la realización de este estudio. A todos los docentes que nos acompañaron durante nuestra formación, les agradecemos por compartir sus conocimientos y por motivarnos a ser mejores cada día.

Finalmente, pero no menos importante, queremos agradecer a nuestras familias. Su amor incondicional, apoyo y comprensión han sido el pilar sobre el cual hemos construido este logro. Gracias por estar siempre a nuestro lado, brindándonos la fortaleza y el aliento necesarios para alcanzar nuestros sueños.

INDICE

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA	11
1.2 BASES TEÓRICAS.	16
1.2.1 El agua	16
1.2.2 Arsénico	19
1.2.3 Moringa Oleífera	20
1.2.4 Cascara de Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	24
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	25
1.3.1 Problema General	25
1.3.2 Problemas Específicos.	25
1.4 OBJETIVOS	26
1.5 HIPÓTESIS GENERAL	27
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	28
2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	28
2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	28
2.2.1 Población	28
2.2.2 Muestra	29
2.3 MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS	33
2.3.1 Materiales	33
2.3.2 Instrumentos.	34
2.3.3 Métodos de investigación	35
2.4 PROCEDIMIENTO	39
2.4.1 Determinación del punto de muestreo	39
2.4.3 OBTENCIÓN DE LOS BIOADSORBENTES	40
2.4.4 Aplicación de tratamientos	41
CAPÍTULO III: RESULTADOS	45
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	63
CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Punto de monitoreo INSITU	30
Tabla 2: Aspectos generales de la cuenca del río Chillón	32
Tabla 3: Operacionalización de variables.....	43
Tabla 4: Análisis del arsénico.....	37
Tabla 5: ECA establecido para la categoría 3.....	38
Tabla 6: Dosis de Moringa oleífera aplicadas en el equipo.....	39
Tabla 7: Correlación Pearson remoción de arsénico con moringa.....	41
Tabla 8: Dosis de Cascara de naranja aplicadas en el equipo.....	42
Tabla 9: Correlación Pearson remoción de arsénico con cascara de naranja.....	44
Tabla 10: Porcentaje de remoción de arsénico por cada dosis de moringa.....	46
Tabla 11: Porcentaje de remoción de arsénico por cada dosis de cascara de naranja.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de cuenca del Rio Chillón.....	24
Figura 2: Mapa del punto de monitoreo INSITU.....	25
Figura 3: Ubicación Hidrográficas de la cuenca del río Chillón.....	26
Figura 4: Diagrama del proceso de remoción de arsénico.....	32
Figura 5: Proceso de obtención del bioadsorbente.....	33
Figura 6: Cantidad de arsénico en el agua de las muestras del Rio Chillón.....	38
Figura 7: Cantidad de arsénico en el agua tratada con Moringa oleífera.....	40
Figura 8: Cantidad de contaminante reducido (moringa).....	41
Figura 9: Cantidad de arsénico en el agua tratada con Cascara de naranja.....	43
Figura 10: Cantidad de contaminante reducido (cascara de naranja).....	43
Figura 11: Remoción de arsénico con ambos bioadsorbentes aplicados.....	45
Figura 12: Contaminante reducido (moringa y cascara de naranja).....	46
Figura 13: Porcentajede remoción con la moringa oleifera.....	47
Figura 14: Porcentaje de remoción con la cascara de naranja.....	49
Figura 15: Prueba de normalidad remoción de arsénico con dosis de moringa.....	51
Figura 16: Prueba de normalidad remoción de arsénico con cascara de naranja.....	51

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Calculo del porcentaje de Remoción.....35

RESUMEN

El incremento de contaminantes por metales pesados en los últimos años ha sido una problemática escondida bajo falta de información por las consecuencias generadas, daños en el sistema respiratorio, endocrinos son algunos de las principales consecuencias por la acumulación de estos. En las laderas del rio Chillón en el distrito de Puente Piedra se encuentra gran población que vive y consume de este recurso natural, debido a la falta de agua que muchos hogares no tienen acceso por motivos de desagüe, la flora y fauna dispersos por el lugar también son afectados de manera directa, bajo esta investigación se evaluó dos bioadsorbentes naturales, *Moringa oleífera* y *Citrus sinensis*, se comparó la eficiencia, porcentaje de remoción y dosis óptima para la eliminación de arsénico, bajo la metodología “test de jarras” en concentraciones principales de 2,4,6,8,10 y 12 gramos de adsorbentes, luego se analizó con pruebas estadísticas de normalidad y Pearson. Las dosis optimas para ambos bioadsorbentes fue de 12 gramos, alcanzando un 91.25% en remoción con *Moringa oleífera*, y 87.5% con *Citrus sinensis*. Se concluye que el mejor bioadsorbente es la Moringa, con un porcentaje de remoción alto y se alcanzo cumplir con el ECA establecido para arsénico de 0,01ppm.

Palabra clave: Moringa oleífera, Citrus sinensis, Arsénico, Bioadsorbente, Remoción

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

En los últimos tiempos, nuestro entorno ha sufrido transformaciones significativas en su equilibrio natural, especialmente en lo que respecta a la atmósfera y la disponibilidad de agua. Este cambio es consecuencia de un fenómeno creciente: la polución, resultado directo de nuestras acciones diarias. Este problema se agrava principalmente debido al aumento poblacional y al desmesurado desarrollo de zonas industriales, lo que ha acelerado la contaminación y agotado nuestros recursos naturales por su uso indiscriminado. La polución ha evolucionado hasta convertirse en un desafío global, representando una seria amenaza para la salud pública. Según la Organización Mundial de la Salud, se estima que el cambio climático podría causar cerca de 250,000 muertes en la presente década (Geographic, 2021)

Las reservas de agua subterránea proveen de agua al 80% de las personas en el mundo. Sin embargo, un 4% de estas reservas ya están contaminados. La mayor parte de la contaminación del agua se relaciona con las actividades industriales que iniciaron posterior a la Segunda Guerra Mundial y que continúan hasta hoy. Por ejemplo, más de 450 kilómetros cúbicos de aguas residuales son vertidos al océano cada año. Además, según la ONU, cada día se vierten 2 millonadas de toneladas de aguas residuales a nivel global. La principal causa de esta contaminación es la falta de un manejo y tratamiento adecuados de los desechos humanos, industriales y agrícolas (Fundacion, 2021).

Nuestro planeta constantemente subraya lo importante que es el agua para la vida, como se refleja en las cada vez más intensas sequías que ponen en riesgo el acceso a este recurso en diversas regiones. Las diferentes formas de contaminación del agua no solo degradan la calidad de este recurso vital, a su vez representan una amenaza para la salud La

falta de agua representan otros desafíos que enfrentamos. De hecho, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente anticipa que para 2025, la gran mayoría vivirán condiciones de escasez de agua (Fundacion, 2021)

Perú, a pesar de ser uno de los países con mayores reservas de agua en América Latina, enfrenta un grave problema de distribución. El 65% de la población costera del país solo tiene acceso al 1,7% de las reservas nacionales de agua, mientras que la cuenca del Amazonas, que posee el 97,7% del agua del país, beneficia al 30% de la población. El agua es esencial para la vida, pero su contaminación por agentes infecciosos o químicos puede dañar seriamente la salud pública (ANA, 2009).

En Perú, la contaminación es un problema crítico, causado por la introducción de sustancias que alteran los ecosistemas y generan enfermedades. Más de 10 millones de peruanos consumen agua contaminada con metales pesados debido a la actividad minera, poniendo en riesgo tanto a las generaciones actuales como futuras (Arrojo, 2022).

Un informe reciente revela que el último diagnóstico nacional de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) se realizó en 2017, y desde entonces no se ha actualizado. En ese informe, el 82,6% de los 130 cuerpos de agua evaluados excedían los estándares de calidad ambiental para parámetros microbiológicos, y el 78,3% superaban los límites permitidos de metales pesados (Verano, 2022).

Las actividades humanas, particularmente aquellas vinculadas al crecimiento industrial, como la minería, la agricultura, la pesca, la explotación forestal y la producción de energía e hidrocarburos, han causado graves daños al medio ambiente. Estos efectos adversos se intensifican cuando se ignoran las normativas ambientales y no se implementan prácticas sostenibles, poniendo en peligro la salud del ecosistema, la calidad del entorno y,

el bienestar de las personas. Según el Observatorio Nacional de Prospectiva del Ceplan, una parte significativa de la degradación ambiental que enfrentamos hoy en día se debe a estas actividades industriales. (CEPLAN, 2023)

La contaminación del suelo, agua y aire es incrementada por la generación de desechos y residuos sólidos, así como por el uso de vehículos de transporte. En el año 2020, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) reportó que se produjeron más de 5 millones de toneladas de residuos sólidos provenientes de hogares y que se liberaron más de 250 millones de metros cúbicos de agua residual doméstica no tratada. Esta situación revela una deficiencia significativa en la infraestructura destinada al tratamiento de aguas residuales. Asimismo, la deforestación representa otro grave problema ambiental en Perú. según datos del INEI más de 203 mil hectáreas de los bosques y ecosistemas fueron destruidos en ese año (CEPLAN, 2023)

El río Chillón en Lima es un ejemplo de contaminación severa, recibiendo desechos de áreas urbanas cercanas. La presencia de *E. coli*, una bacteria fecal, ha contaminado tanto el río que ya no es apto para riego ni para las aves que solían beber de él. El Chillón representa al menos el 10% del agua utilizada en la ciudad y fluye desde los Andes hasta el Océano Pacífico (Bosqued, 2020).

En Argentina, Chile y Perú, el arsénico en agua, especialmente de origen subterráneo, presenta riesgos graves. La toxicidad del arsénico varía según su forma y estado de oxidación, siendo los arsénicos inorgánicos más peligrosos. La exposición moderada a arsénico inorgánico se ha asociado con aumento de cáncer, enfermedades cardiovasculares y diabetes mellitus (FAO, 2016).

En Perú, la contaminación por arsénico en el agua se debe tanto a factores geológicos como a la minería y fundición de metales. El arsénico en el agua de consumo frecuentemente supera los límites permitidos por la OMS, siendo un problema significativo para ciudades como Lima, que depende del río Rímac y Chillón para su abastecimiento (ANA, 2009).

La exposición al arsénico ocurre principalmente a través de la ingestión de agua y alimentos contaminados, así como por inhalación de aire y contacto dérmico. Las principales fuentes de exposición incluyen pesticidas, minería, metalurgia y el uso de combustibles fósiles (Medina et al., 2018).

Estudios recientes han explorado soluciones para la remoción del arsénico en agua, como el uso de hojas del árbol de *Moringa oleífera*. Investigaciones indican que la molienda de estas hojas puede reducir el arsénico en el agua en hasta un 89%. Otros estudios también destacan la efectividad de la *Moringa oleífera* en la remoción de plomo y arsénico (Medina et al., 2018).

En una investigación reciente llevada a cabo por científicos de la OMS, se examinó el riesgo que representa el arsénico en el agua potable en Perú. Los hallazgos revelaron una contaminación generalizada en diversas localidades, con niveles que exceden tanto los estándares nacionales como los internacionales establecidos por la OMS. En el 86% de las muestras de agua subterránea, los niveles de arsénico sobrepasaron el límite recomendado de 10 mg/L. Similarmente, el agua a lo largo del río Chillón mostró concentraciones superiores a las pautas de la OMS (OMS, 2022)

Mendoza (2018), exploró la capacidad de las hojas del árbol *Moringa oleífera* para absorber arsénico en Torreón, Coahuila. Se descubrió que el arsénico, presente en las fuentes de agua, representa un riesgo considerable para la salud. La investigación mostró que al usar

hojas de Moringa en soluciones de distintas concentraciones (0,25, 0,50 y 0,75 g), se logró reducir el contenido de arsénico hasta en un 89%, estableciendo a esta planta como una opción eficaz para la remoción de este contaminante.

Hernandez, & otros (2018), realizaron un estudio para validar la *Moringa oleífera* como una herramienta para eliminar plomo y arsénico en agua potable. El estudio profundiza en los compuestos activos de la planta responsables de este proceso. Se aplicaron tratamientos a muestras contaminadas con plomo y arsénico usando dosis de hidratos de carbono de gramíneas (0,25, 0,50 y 1,00 g/l). Se obtuvo una remoción del 80% de arsénico y una reducción del 98% de plomo, cumpliendo con los estándares de calidad para el agua potable establecidos por la normativa NSO 13.07.01:08.

Por su parte, Lagos (2017) investigó la biosorción de metales pesados como Pb, Cd y Fe en líquidos mediante *Moringa oleífera* en Quito. La tesis detalló cómo las semillas de Moringa, tratadas con el método Soxhlet, contribuyen a la eliminación de metales pesados. Los resultados mostraron una remoción destacada de Cd (90%) y Pb (75%), con diferentes eficiencias según las concentraciones de los metales.

Crespiera (2015) en su artículo “Piel de naranja como bioadsorbente de metales pesados” evaluó la cáscara de naranja como una solución para la contaminación por metales pesados en cuerpos de agua. Aunque el estudio demostró la eficacia de la cáscara para reducir colorantes en efluentes residuales textiles, se consideró que su potencial más prometedor es en la reducción de la salinidad del agua marina.

Pardo et al. (2018), en su investigación “Beneficio de la cáscara de la naranja como bioadsorbente para la remoción de efluentes industriales” analizaron la utilización de cáscaras de naranja, tanto en estado natural como activado, para la adsorción de

contaminantes en efluentes sintéticos. Los resultados indicaron que, a pesar de que no hubo diferencias significativas entre los sustratos secos y activados, la biomasa seca mostró mejores resultados en la remoción de contaminantes en comparación con su forma activada.

Laura (2018), estudio un tratamiento de aguas por un proceso de coagulación, floculación usando un bioadsorbente natural monitoreado en un dispositivo de pruebas de jarras. El pre-tratamiento del material biosorbente, pectina obtenida a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina, se llevó a cabo mediante la selección de la cáscara de estos frutos, para posteriormente ser lavadas, secadas, trituradas, y desmetóxicadas con hidróxido de sodio (NaOH), y luego ser reticulada con una solución de cloruro de calcio (CaCl₂), a un pH 5 y en agitación constante, obteniendo un tamaño de 180-250 μm . obteniendo así las siguientes características con relación a la pectina de naranja el pH fue de 6,25; humedad 13,14% contenido de cenizas de 9,73%; fibra 22,71%; pectina de limón el pH fue de 6,55; humedad 12,57%; contenido de cenizas 10,51%; fibra 27,43% y pectina de mandarina el pH fue de 5,55; humedad 12,76%, cenizas 9,39% y fibra de 26,11%. El proceso incluyó lavado, secado, trituración, desmetoxilación con NaOH y reticulación con CaCl₂. La pectina de mandarina demostró una alta eficacia en la remoción de arsénico (43,64%) y plomo (71,95%), mientras que la de limón y naranja también mostró buenas capacidades de eliminación para arsénico y cromo.

1.2 Bases teóricas.

1.2.1 El agua

El agua emerge como el componente predominante en la superficie terrestre, abarcando aproximadamente el 71% de la corteza del planeta. Este recurso hídrico se erige como un pilar fundamental e imprescindible para la vida en la Tierra,

desempeñando un papel crucial en la prosperidad de los ecosistemas y el bienestar humano (AQUAE, 2021).

El agua, como recurso vital, enfrenta desafíos significativos debido a la contaminación causada por actividades industriales, agrícolas y domésticas. La remoción de contaminantes del agua es crucial para prevenir problemas de salud y proteger el medio ambiente. Entre los métodos tradicionales se encuentran la coagulación, la floculación, y la adsorción utilizando carbón activado. Sin embargo, estos métodos pueden ser costosos y no siempre sostenibles (Lopez, 2019).

Importancia del agua para los seres vivos

Fernandez (2014), menciona que el agua constituye el recurso más vital del planeta y es esencial para el mantenimiento de la vida en nuestro entorno. Resalta que el 71% de la superficie terrestre está cubierta por agua en estado líquido, de la cual únicamente el 1% es agua dulce. Esta fracción se encuentra en lagos, lagunas y acuíferos, mientras que el 97% restante se halla en mares y océanos. Fernández (2014) también señala que todos los organismos vivos están compuestos en gran medida por agua, variando desde un 45% en insectos hasta un asombroso 95% en medusas.

Normativa peruana de la calidad de aguas residuales

El Decreto Supremo N° 004-2017-MINAN regula los estándares permitidos de diversas sustancias y parámetros en el agua, tanto en términos de elementos, como de características físicas, químicas y biológicas. Esta normativa busca asegurar que el agua, en su rol como receptor y parte esencial de los ecosistemas acuáticos,

no presente un peligro considerable ni para la salud humana ni para el entorno natural. (SINIA, 2017).

Aguas residuales

Según el OEFA (2014), estamos hablando de aguas que, debido a las actividades humanas, sufren transformaciones y tienen una calidad bastante baja. Por esta razón, requieren un tratamiento especial antes de que puedan ser reutilizadas, liberadas en un cuerpo natural de agua, o dirigidas al sistema de drenaje. El gran problema con estas aguas es la falta de servicio adecuado y la deficiente calidad del servicio que ofrecen las Entidades Prestadoras de Servicios de saneamiento (OEFA, 2014).

Se dividen en:

- Aguas residuales industriales: Estas son las aguas que salen de fábricas y otras industrias. Incluyen las que provienen de actividades como la agricultura, minería, generación de energía, y otras actividades similares.
- Aguas residuales domésticas: Son las aguas que vienen de nuestras casas y de los centros comerciales.
- Aguas residuales municipales: Estas son una mezcla de las aguas residuales de los hogares y el agua de lluvia que se ha mezclado con aguas residuales tratadas previamente de origen industrial.

Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Las nuevas reglas para la calidad del agua están en el D.S. N° 004-2017-MINAM.

Estas reglas clasifican el agua en Perú de la siguiente manera:

- Categoría 1: Para el uso de la población y actividades recreativas.

- Categoría 2: Para la extracción, cultivo y otras actividades en el mar y en tierra firme.
- Categoría 3: Para regar plantas y dar agua a los animales.
- Categoría 4: Para conservar el ambiente acuático.

1.2.2 Arsénico

El arsénico, con un número atómico de 33 y un peso de 74, es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, según lo informado por la Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria en 2009. Este elemento cuenta con 17 nucleídos radiactivos.

Por otro lado, Londoño, Londoño y Muñoz (2016) mencionan que, en su estado natural, el arsénico suele encontrarse como mineral de cobalto, aunque también es común hallarlo en la superficie de las rocas, donde se encuentra combinado con azufre o diversos metales como manganeso, hierro, cobalto, níquel, plata o estaño. Uno de los principales minerales de arsénico es la arsenopirita (FeAsS), que se utiliza en el tratamiento de maderas y en la fabricación de productos agrícolas, tales como pesticidas y herbicidas.

Efectos del arsénico sobre la salud

Cuando se está expuesto al arsénico durante mucho tiempo, puede causar problemas en la piel como manchas y engrosamientos, así como daños en los nervios y el hígado. La exposición a dosis altas puede ser muy peligrosa y causar fiebre, hinchazón del hígado, manchas oscuras en la piel, problemas con el ritmo del corazón, daño en los nervios periféricos, anemia y bajos niveles de glóbulos blancos. El arsénico es considerado cancerígeno por la IARC, y puede provocar cáncer de piel, pulmón, hígado, linfomas, y cáncer de vejiga, riñón y nasofaringe

(Londoño, Londoño y Muñoz, 2016). La Organización Mundial de la Salud (2017) indica que los síntomas de una intoxicación grave son vómitos, dolor abdominal, diarrea, hormigueo en manos y pies, calambres, enfermedades de la piel, diabetes, daño a los nervios, y problemas cardiovasculares.(Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016).

Según un informe de la Organización Mundial de la Salud (2017), los síntomas más comunes asociados a una intoxicación severa por este compuesto incluyen náuseas, malestar estomacal y diarrea. Después de estos primeros indicios, pueden aparecer otras manifestaciones como sensaciones de hormigueo en las extremidades, calambres musculares y condiciones de salud más graves como problemas cutáneos, diabetes, neuropatía periférica y trastornos cardiovasculares.

1.2.3 *Moringa oleífera*

Velázquez et al (2016), nos cuentan que la *Moringa oleífera* es una planta que viene de la India y que también crece en América. Se desarrolla mejor en zonas tropicales, pero se adapta a otros ambientes. Esta planta tiene vitaminas, proteínas, aminoácidos, fibras, carbohidratos y otros compuestos beneficiosos, por lo que se usa como alimento para tratar enfermedades y en la industria alimentaria y cosmética. Además, se utiliza para tratar aguas contaminadas.

En ingeniería, ciertas partes de la *Moringa oleífera* pueden actuar como coagulantes naturales para limpiar aguas, siendo una alternativa a los coagulantes sintéticos como el sulfato de aluminio (ADNAgro, 2016).

Propiedades Coagulantes de la *Moringa oleífera*

Las semillas de *Moringa oleífera* contienen proteínas que actúan como coagulantes naturales. Estas proteínas tienen la capacidad de aglutinar partículas suspendidas en el agua, facilitando su eliminación. El proceso de coagulación se produce cuando las partículas coloidales en el agua, que son demasiado pequeñas para sedimentar por sí solas, se agrupan formando flóculos más grandes que pueden ser fácilmente removidos por sedimentación o filtración (Fawzy, 2019).

El uso de *Moringa oleífera* para la purificación del agua es un ejemplo de cómo las soluciones naturales pueden abordar problemas ambientales críticos. Su capacidad para coagular y sedimentar partículas, junto con su accesibilidad y bajo costo, la convierte en una opción valiosa para comunidades que carecen de acceso a tecnologías avanzadas de tratamiento de agua. Sin embargo, es importante continuar investigando y desarrollando métodos que puedan complementar sus limitaciones, asegurando así que más personas en todo el mundo tengan acceso a agua limpia y segura (Fawzy, 2019).

Taxonomía de la *Moringa oleífera*

Casanova et al (2018), se distingue entre las trece especies del género *Moringa* por su fruto, que se presenta en forma de una vaina leñosa alargada. Este fruto, al madurar, se abre en tres válvulas que contienen semillas aladas longitudinalmente. Además, sus flores son zigomorfas, con una estructura compuesta por cinco estambres funcionales, cinco sépalos, cinco pétalos y varios estaminodios. También se observa la presencia de inflorescencias axilares y pedicelos. En cuanto a la estructura de la planta, esta posee tallos rígidos y raíces tuberosas.

Uso de la *Moringa oleífera*.

La *Moringa oleífera*, conocida por su adaptabilidad a terrenos áridos, tiene la habilidad de prosperar en suelos poco fértiles, proporcionando una cobertura arbórea rápida. Esta característica la convierte en una alternativa viable para iniciativas de reforestación en regiones secas. Además, su raíz pivotante y profunda puede hacerla un cultivo complementario valioso para especies que tienen un crecimiento más lento. Clasificada dentro de una categoría de árboles no leguminosos, la *Moringa oleífera* es prometedora para sistemas mixtos de tala y transporte, así como para la creación de barreras y cercas vivas. Su resistencia a la sequía, su capacidad para controlar la erosión del suelo y su habilidad para crecer en terrenos degradados la hacen una opción destacada en estos contextos. (ADNAgro, 2016)

Tratamiento de aguas con *Moringa oleífera*.

Castillo & Avendaño (2020) destacan que el polvo de las semillas de *Moringa oleífera*, tanto con cáscara como sin ella, tiene propiedades desinfectantes, floculantes, coagulantes y ablandadoras del agua. Estas semillas muestran un notable potencial para reducir la alcalinidad del agua, lo que es crucial en los procesos de tratamiento. Además, se ha identificado que las semillas de *Moringa oleífera* tienen propiedades antimicrobianas activas.

Velázquez et al. (2016) también señalan que las semillas de *Moringa oleífera* se utilizan para eliminar turbidez, color, microorganismos fecales y bacterias como la E. Coli.

Aplicaciones y Estudios Recientes

Diversos estudios han explorado el potencial de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas. Investigaciones han demostrado que su eficacia es comparable a la de algunos productos químicos comerciales, con la ventaja de ser un recurso renovable y biodegradable. En países como India, Nigeria y Sudán, donde el acceso a agua limpia es un desafío, la Moringa ha sido adoptada como una solución viable para la purificación del agua a nivel comunitario. Además, recientes innovaciones están enfocadas en mejorar la eficiencia del proceso, como el desarrollo de filtros compuestos que combinan Moringa con otros materiales naturales para aumentar la capacidad de eliminación de contaminantes (Ahmad,2018).

Beneficios y Limitaciones

El uso de *Moringa oleifera* para la purificación del agua presenta varios beneficios. Es un método ecológico, económico y accesible, especialmente en regiones donde los recursos son limitados. Además, no requiere de equipos especializados, lo que lo hace ideal para comunidades rurales (Kurniawan,2006)

Sin embargo, este método también tiene algunas limitaciones. Aunque la Moringa es eficaz en la eliminación de turbidez y reducción de bacterias, puede no ser suficiente para eliminar contaminantes químicos o metales pesados presentes en el agua. Por lo tanto, en casos de contaminación severa, podría ser necesario combinar este método con otros procesos de tratamiento (Kurniawan,2006)

1.2.4 Cascara de Naranja (*Citrus sinensis*)

El SICA informa que, en Ecuador, el cítrico más producido es la naranja, con un 80% de la producción. Sin embargo, el país exporta solo el 0,28% y la producción de jugo de naranja también es baja, por lo que el cultivo se destina mayormente al consumo interno. En Ecuador se cultivan variedades como la naranja dulce para jugo y consumo fresco, y la naranja agria. La cáscara de naranja, un residuo del consumo, contiene pigmentos, pectina, celulosa, hemicelulosa y otros compuestos de bajo peso molecular que facilitan la adsorción (Llamuca, 2018).

En Ecuador, se cultivan diversas variedades de naranjas que se dividen principalmente en dos categorías: las naranjas dulces y las ácidas. Las primeras, utilizadas tanto para la extracción de jugo como para el consumo en fresco, incluyen variedades como las pigmentadas, las de ombligo, las comunes y las que no presentan acidez. Por otro lado, dentro de las naranjas ácidas, se destaca la naranja agria. Un subproducto habitual del consumo de naranjas es la cáscara, la cual está compuesta de una mezcla de pigmentos, pectina, celulosa, hemicelulosa y compuestos de bajo peso molecular. Estas características permiten que la cáscara de naranja tenga capacidad para adsorber diferentes sustancias (Llamuca, 2018)

Tratamiento de aguas con la cascara de naranja

La cáscara de naranja, rica en celulosa, pectina, hemicelulosa y lignina, así como en pigmentos de clorofila y otros hidrocarburos ligeros, presenta numerosos grupos funcionales hidroxilo. Esto le confiere propiedades sorbentes útiles para la remoción de contaminantes en procesos de tratamiento de aguas (Campo et al. 2017).

Principalmente, la cáscara de naranja, con su composición de celulosa, hemicelulosa y pectina, junto con pigmentos de clorofila y otros compuestos de bajo peso molecular, resulta eficaz en la adsorción de colorantes y metales pesados (Vargas, 2019). Estos filtros pueden eliminar una variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos, demostrando una forma innovadora de reciclar residuos agrícolas en tecnologías útiles para el tratamiento de agua (Science Friday, 2023).

El tratamiento de aguas con cáscara de naranja es una solución prometedora que combina sostenibilidad y eficacia. Si bien es necesario continuar investigando para optimizar su aplicación, los resultados hasta la fecha son alentadores. La cáscara de naranja podría desempeñar un papel importante en la gestión de recursos hídricos, especialmente en comunidades que buscan métodos de tratamiento de bajo costo y respetuosos con el medio ambiente.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema General

¿Cuál será la comparación del porcentaje de eficiencia de la moringa (*Moringa oleífera*) y cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) para la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024?

1.3.2 Problemas Específicos.

- ¿Cuál será la mejor dosis de la moringa (*Moringa oleífera*) y cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) en la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024?

- ¿Cuáles serán los parámetros en las muestras de aguas del Río Chillón antes y después de aplicar el tratamiento de remoción a partir de la moringa (*Moringa oleífera*) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*)?
- ¿Cuál será el porcentaje de remoción de arsénico usando la moringa (*Moringa oleífera*) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*)?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Determinar y comparar el porcentaje de eficiencia de la moringa (*Moringa oleífera*) y cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) para la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Determinar la mejor dosis de la moringa (*Moringa oleífera*) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*) en las aguas del río Chillón, 2024.
- Evaluar los parámetros en las muestras de aguas del Río Chillón antes y después de aplicar el tratamiento de remoción a partir de la moringa (*Moringa oleífera*) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*).
- Determinar el porcentaje de remoción del arsénico usando la moringa (*Moringa oleífera*) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*).

1.5 Hipótesis General

1.5.1 Hipótesis General.

H0: La (*Moringa oleífera*) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*) como bioadsorbentes actúan eficientemente en la remoción del arsénico en aguas del río Chillón, 2024

Ha: La (*Moringa oleífera*) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*) como bioadsorbentes no actúan eficientemente en la remoción del arsénico en aguas del río Chillón, 2024

1.5.2 Hipótesis Específicos.

. Se logró determinar la dosis de la moringa (*Moringa oleífera*) y cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) en la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024.

. Se logró determinar los parámetros en las muestras de aguas del Río Chillón antes y después de aplicar el tratamiento de remoción a partir de la moringa (*Moringa oleífera*) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*).

. Se logró hallar el porcentaje de remoción de arsénico usando la moringa (*Moringa oleífera*) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

El estudio actual se fundamenta en un enfoque cuantitativo, orientado a la utilización de datos numéricos y estadísticos para evaluar la eficacia entre las variables. Según Sampieri (2014), este método se basa en la recolección y análisis de información numérica con el propósito de validar hipótesis y examinar cómo se comportan las variables bajo estudio.

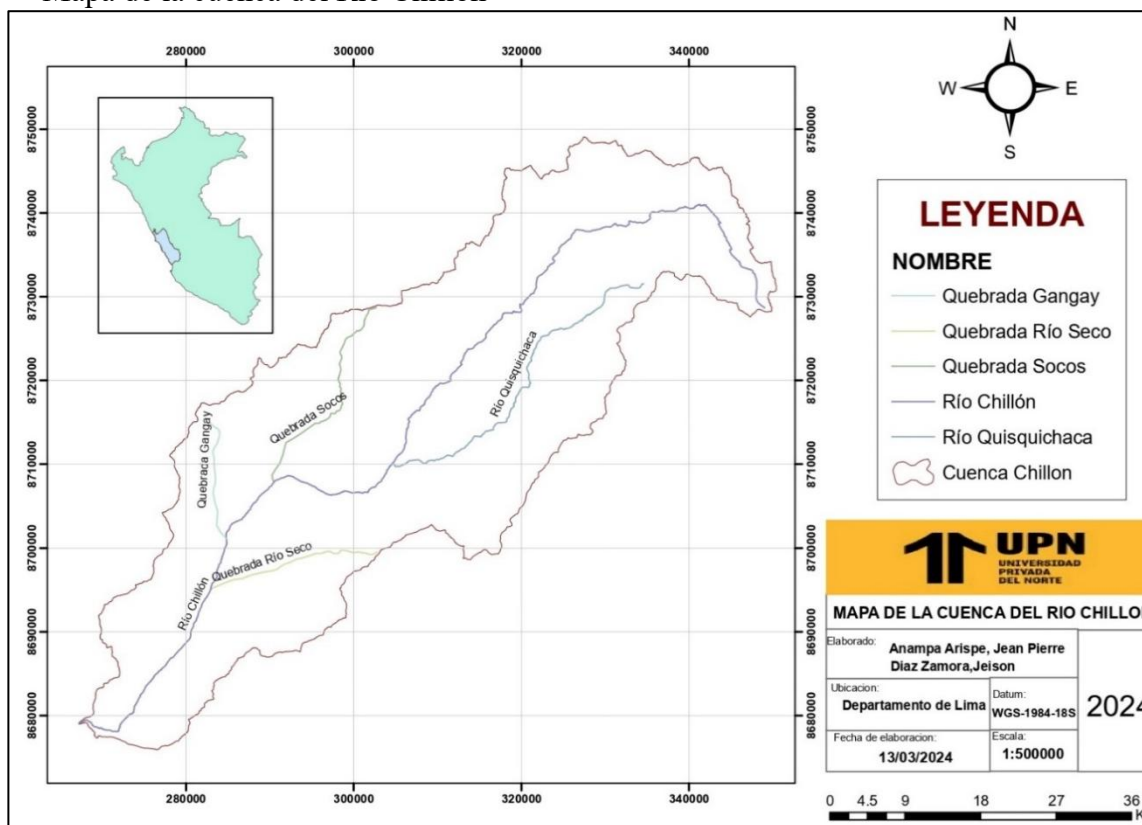
Adicionalmente, el diseño de la investigación es de tipo experimental, dado que se modificó una variable específica el material adsorbente para observar cómo influye en las muestras de agua contaminada con arsénico provenientes del Río Chillón. Además, se clasifica como preexperimental, dado que se realizarán mediciones antes y después de la aplicación de *Moringa oleifera* y cáscara de naranja para evaluar los efectos de estas sustancias.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

La población objeto de estudio comprende la totalidad de la cuenca del Río Chillón. Este ámbito se ha definido utilizando la información obtenida en el informe técnico N° 002-2016-ANAAAA.CF/SDGCRH, que señala un área total de 2181,5 km². Esta delimitación se basa en el último monitoreo participativo sobre la calidad del agua superficial realizado en la cuenca del río Chillón(ANA, 2013).

Figura 1:
Mapa de la cuenca del Río Chillón



2.2.2 Muestra

La muestra fue determinada a partir de los hallazgos que evidencia el informe técnico N°002-2016-ANAAAA.CF/SDGCRH. En dicho informe, se registraron varias ubicaciones de control a lo largo de la región del Río Chillón. Para la evaluación detallada de la calidad del agua superficial, se ha elegido la estación 15 como punto clave para el análisis directo, debido a la cercanía de fábricas y población del lugar (ANA, 2013).

Tabla 1:

Punto de monitoreo INSITU

N°	Código	Descripción	Coordenadas UTM	
			Norte	Este
15	137556 Rchil 15	Río Chillón, puente peatonal ensenada	8682573	274544

Figura 2:

Mapa del punto de monitoreo INSITU



2.2.2.1 Ubicación geográfica

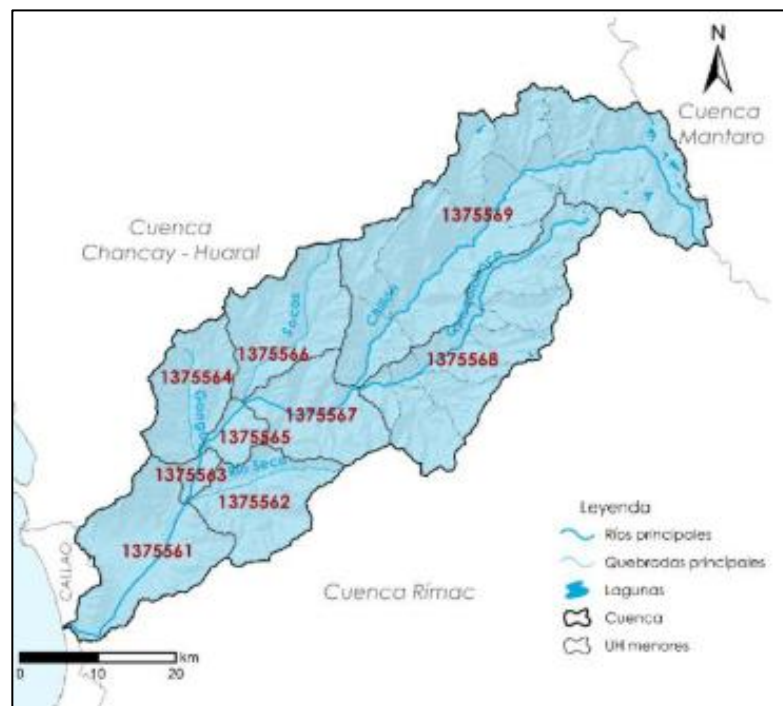
La región que abarca el río Chillón está situada entre las latitudes sur $11^{\circ}15'$ y $12^{\circ}00'$, y las longitudes oeste 76° y 77° . Su extensión total alcanza los 2,181.5 km². Esta área se encuentra dentro del ámbito del departamento de Lima y la

provincia constitucional del Callao, abarcando dos distritos en el Callao, así como ocho distritos en Lima y siete en Canta, en la costa peruana (ANA, 2019).

El río Chillón, el principal de la región, tiene su origen en el lado occidental de la cordillera Viuda. Este río recibe el agua de los deshielos y su curso finaliza en el Océano Pacífico, en el área de Callao. En la cabecera del río Chillón, se hallan al norte las lagunas Aguascocha, Verde Cocha, Chuchón, Torococha y León Cocha; mientras que al sur se encuentran las lagunas Azulcocha, Pucrococha, Vanauilla y Aguas Cocha (ANA, 2019).

Figura 3:

Ubicación Hidrográficas de la cuenca del río Chillón



2.2.2.2 Aspectos generales de la cuenca

De acuerdo con el informe inicial de ANA (2019), sobre la planificación para la administración de recursos hídricos en las cuencas, se indica que el río Chillón se extiende aproximadamente por 126 kilómetros. Los principales afluentes de

este río incluyen los ríos Putura, Cóndor Huinco, Moquegua, Arahua y la Quebrada Torococha. Además, las lagunas Chuchon y Torococha también contribuyen al sistema hídrico de la región.

Tabla 2:

Aspectos generales de la cuenca del río Chillón

Características	Descripción
Nombre de la cuenca	Chillón
Vertiente hidrográfica	Pacífico
Código	137556
Jurisdicción (ALA)	Chillón Rímac Lurín
Superficie	2300 km ²
Río Principal	Río Chillón
Principales Actividades	Poblacional, agrícola, industrial y pecuario

2.2.2.3 Clasificación de la cuenca

El río Chillón, según lo establecido en la Resolución Jefatural N°202-2010-ANA sobre la "Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales", se clasifica en dos categorías principales. La primera, denominada Categoría 1: Poblacional y Recreacional – subcategoría 2, se refiere a las aguas que pueden ser tratadas para su potabilización mediante un proceso convencional. Esta categoría abarca desde el nacimiento de la cuenca hasta el punto donde SEDAPAL realiza la captación de agua potable. Desde ese punto de captación hasta la desembocadura en el Océano Pacífico, el río se clasifica bajo la Categoría 3: destinada al riego de vegetales y al consumo de animales.

2.3 Materiales, Instrumentos y métodos

2.3.1 Materiales

Los materiales que se tuvieron en cuenta fueron necesarios para poder desarrollar el proceso de recolección, procesamiento de datos y muestra de resultados.

a) Material necesario para la

preparación del equipo de trabajo:

- Recipientes desinfectados
- Guantes desechables
- Gafas de seguridad
- Mascarilla facial
- Caja térmica
- Identificadores adhesivos
- Marcador permanente
- Cuaderno de notas

b) Evaluación de características

fisicoquímicas usando un material

adsorbente:

- Frasco cónico
- Cilindros graduados
- Recipiente para mezclas
- Medidor de pH
- Equipo multiparamétrico

- Medidor de turbidez
- Báscula
- Cilindro milimetrado
- Medidor de temperatura
- Guantes desechables
- Gafas de seguridad
- Mascarilla facial

c) Proceso de adición del

adsorbente en la muestra de agua:

- Placa de vidrio
- Báscula
- Recipiente para mezclas
- Frasco cónico
- Cilindro milimetrado
- Mascarilla facial
- Guantes desechables
- Agitador magnético

d). Análisis fisicoquímicos de la concentración de arsénico (antes y después).

- ✓ pH metro
- ✓ Conductímetro
- ✓ Turbidímetro

2.3.2 Instrumentos.

a) Instrumentos de Recolección de datos

La metodología para seleccionar las muestras se realizó siguiendo el "Manual Nacional para la Evaluación de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales" (ANA, 2016). Esta metodología incluyó una evaluación y comparación con los estándares ambientales vigentes. Se midió la presencia de arsénico en el agua, y se clasificó según los parámetros del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, en las categorías 3, D1 (irrigación de cultivos) y D2 (consumo animal).

b) Instrumentos de Análisis de datos

Para gestionar los datos recolectados, se utilizó el programa Microsoft Excel 2019. El análisis se efectuó a través de métodos cuantitativos empleando el software “Statistical Package for the Social Sciences” (SPSS) versión 29, aplicando pruebas de hipótesis y correlación. Además, se presentaron los resultados mediante tablas y gráficos estadísticos. Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba Post Hoc de Tukey para identificar el bioadsorbente más efectivo en la eliminación de arsénico.

2.3.2 Métodos de investigación

a) Proceso de coagulación - floculación

Molano (2016), describe que el procedimiento de coagulación-floculación y sedimentación se simula usando la prueba de jarras. Este método experimental sirve para determinar la dosis óptima de coagulante y maximizar la eficiencia del proceso de sedimentación. La prueba de jarras consiste en un equipo con paletas que giran en seis vasos a una velocidad ajustable. Se añaden distintos niveles de coagulante a los vasos con muestras de agua, y se procede a girar las paletas a alta velocidad durante un corto periodo antes de reducir la velocidad para mantener una turbulencia suave por más tiempo. El proceso culmina con la sedimentación del agua, seguido de un análisis para establecer la cantidad ideal de coagulante.

b) Procedimiento de la prueba de jarras

Para llevar a cabo una prueba de coagulantes en agua, se requiere el uso de un agitador con capacidad para seis frascos de 1 litro cada uno. A continuación, se detalla el procedimiento para realizar la prueba:

1. Ubica un frasco de 1 litro bajo cada una de las paletas del agitador.
2. Llena cada frasco con exactamente 1 litro de muestra de agua contaminada, utilizando una probeta graduada para medir.
3. Registra en la hoja de datos la cantidad específica de coagulante a añadir a cada frasco, que variará entre ellos.
4. Usando una pipeta, agrega el coagulante en incrementos progresivos: 2 mg/L en el frasco #1, 4 mg/L en el frasco #2, 6 mg/L en el frasco #3, 8 mg/L en el frasco #4, 10 mg/L en el frasco #5 y 12 mg/L en el frasco #6.
5. Inserta las paletas en los frascos y enciende el agitador, manteniéndolo a una velocidad de 60 a 80 rpm durante 1 minuto.
6. Reduce la velocidad del agitador a la velocidad de agitación deseada (aproximadamente 30 rpm) y deja que la mezcla continúe durante unos 15 minutos, simulando las condiciones de operación típicas de una planta de floculación.
7. Registra el tiempo necesario para que comiencen a formarse los flóculos.
8. Al finalizar el tiempo de agitación, apaga el agitador y mide el tiempo que tarda en sedimentarse el flóculo en el fondo del frasco.
9. Tras 20 minutos de asentamiento, evalúa el color y la turbidez del sobrenadante, es decir, el líquido que queda encima de los flóculos.
10. En la hoja de registro, anota la dosis de coagulante, el tiempo y la velocidad de agitación, el pH, las características de los flóculos y el análisis del sobrenadante.
11. Después de permitir el asentamiento del flóculo durante 30 minutos, filtra el sobrenadante utilizando un papel de filtro.

12. Finalmente, para completar la separación del floculo, realiza el proceso de filtrado y mide la eliminación de arsénico en el agua con el test Arsenic Test marca MQuant TM.

c) Coagulación

Según Pomalaza & Victoria (2016), la coagulación es un proceso químico que descompone las partículas coloidales al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas mediante el uso de coagulantes químicos o naturales, junto con la aplicación de agitación.

1. Mecanismos de coagulación

La inestabilidad de los coloides se puede generar por mecanismos físicos y químicos como:

- Adsorción y puente
- Conglomerado de partículas
- Adsorción y neutralización de cargas
- Compresión de la doble capa

2. Coagulantes utilizados

- Sulfato de Aluminio
- Aluminato de Sodio
- Cloruro de Aluminio
- Cloruro Ferrico
- Sulfato Ferrico
- Sulfato Ferroso

- Polielectrolitos

d) Floculación

Pomalaza & Victoria (2016) también describen que, tras la coagulación, sigue el proceso de floculación. En esta etapa, la mezcla coagulada es agitada para facilitar la formación y agrupación de los flóculos, lo que favorece su sedimentación al incrementar su peso y tamaño. La floculación mediante agitación lenta permite la formación gradual de los flóculos.

Por otro lado, Molano (2016) destaca que la combinación de sales metálicas con polímeros ha mejorado significativamente el rendimiento en el tratamiento de agua en comparación con el uso exclusivo de sales metálicas. También señala que la efectividad de la floculación depende de varios factores, como la cantidad óptima de polímero y la adecuada agitación.

1. Tipos de Floculación

- Floculación Pericinetica
- Floculación Ortocinetica

2. Floculantes

- Minerales
- Orgánicos Naturales
- Orgánicos de Síntesis

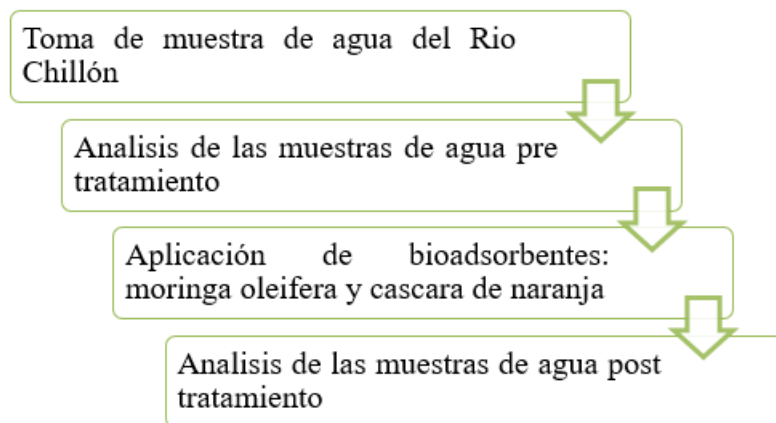
2.4 Procedimiento

2.4.1 Determinación del punto de muestreo

Con el objetivo de llevar a cabo la sección experimental del estudio, se tomaron muestras de agua del Río Chillón en el Distrito de Puente Piedra. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio especializado en espectrometría para determinar la cantidad inicial de Arsénico (As) contenida en el efluente.

Figura 4:

Diagrama del proceso de remoción de arsénico



2.4.2 Toma de muestra

En la recolección de muestras de agua superficial, se siguieron las directrices establecidas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2013) de la siguiente manera:

Preparativos Iniciales:

- Organización de los contenedores para la recolección de muestras.
- Elaboración de los documentos de cadena de custodia.
- Preparación del equipo necesario, incluyendo guantes, GPS, cámara fotográfica, y refrigeradores, entre otros.

Método de Recolección de Muestras:

- Introducción del contenedor en el cuerpo de agua de manera que se recoja una muestra representativa.
- Registro de las coordenadas geográficas del punto de recolección utilizando un GPS.
- Captura de imágenes para documentar el entorno del sitio de muestreo.
- Asignación de una etiqueta a la muestra para su identificación.
- La muestra debe ser recolectada sumergiendo el contenedor en dirección opuesta al flujo del agua para evitar la entrada de aire debido a turbulencias.

Procedimientos de Almacenamiento y Conservación:

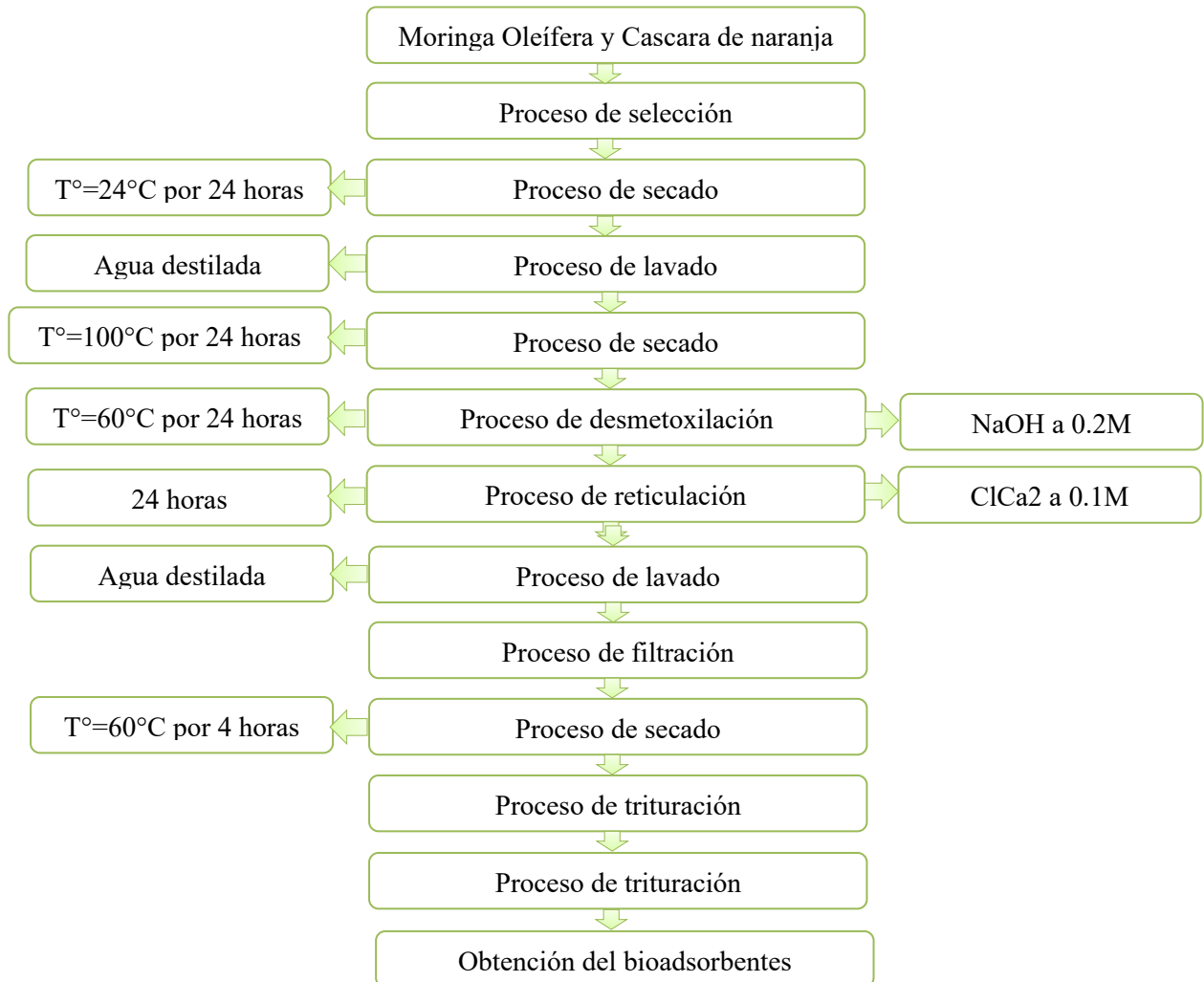
- Los frascos deben llenarse hasta tres cuartas partes de su capacidad para permitir el intercambio de aire y garantizar la viabilidad de los microorganismos presentes.
- Conservar las muestras en refrigeradores a una temperatura de 4° C y añadir los reactivos necesarios, si los análisis lo requieren.
- Asegurar cada frasco con una tapa hermética y etiquetarlo con la información de la muestra, la fecha de recolección, la persona encargada, y los parámetros a analizar.

2.4.3 Obtención de los bioadsorbentes

Para la preparación de los biosorbentes, se seleccionaron hojas de *Moringa oleífera* y cáscaras de naranja en condiciones óptimas. Estas muestras fueron lavadas para eliminar impurezas y luego tratadas químicamente con NaOH a 0,2M y CaCl₂ a 0,1M para potenciar su capacidad de absorción.

Figura 5:

Proceso de la obtención del bioadsorbentes



2.4.4 Aplicación de tratamientos

1.1.1.1. Variable dependiente (Remoción de arsénico)

- a) Definición conceptual: La eliminación de arsénico presente en el agua se consigue mediante la implementación de una secuencia efectiva de procesos continuos, tales como la coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

b) Definición operacional: Para eliminar el arsénico, se emplearon *Moringa oleífera* y cáscara de naranja, las cuales al interactuar con el agua y el arsénico provocan la coagulación y formación de flóculos. Estos flóculos, al sedimentarse, se acumulan en el fondo durante la prueba de jarras. Posteriormente, para separar estos flóculos, se lleva a cabo un proceso de filtración. La cantidad de arsénico eliminada del agua será determinada mediante el uso del Arsenic test de la marca MQuant TM.

1.1.1.2. Variable independiente (dosis de *Moringa oleífera* y cascara de naranja).

a) Definición conceptual: En el proceso de eliminación de arsénico, se emplearon *Moringa oleífera* y cáscara de naranja. Cuando estos materiales entran en contacto con el agua contaminada con arsénico, se produce una coagulación que forma un flóculo. Este flóculo, tras dejarse sedimentar, se asienta en el fondo del recipiente utilizado para la prueba. Para completar la separación del flóculo, se realizará un proceso de filtración. La cantidad de arsénico remanente en el agua se cuantificará utilizando un test específico de arsénico, el Arsenic test marca MQuant™.

b) Definición operacional: Dosis de *Moringa oleífera* y cascara de naranja: Se consideró 6 tratamientos con diferentes dosis en mg/L de concentración D1: 2 mg/L, D2: 4 mg/L, D3: 6 mg/L, D4: 8 mg/L, D5:

10 mg/L y D: 12 mg/L de semillas de *Moringa oleifera* y cascara de naranja; ambas trituradas para ser agregadas a las aguas del Rio Chillón del distrito de Puente Piedra a 200 rpm por un tiempo de 30 minutos y 100 rpm por 15 minutos, a pH 4, que posteriormente será regulado a pH 7 usando hidróxido de sodio al 20 %.

Tabla 3:

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medición
Variable Independiente		Dosis	g/L
<i>Moringa Oleifera y cascara de naranja</i>	<i>Moringa oleifera</i> y cascara de naranja	Tamaño de partícula	Mm
	Parámetros fisicoquímicos	pH, turbidez,	Número
Variable dependiente	Remoción	Porcentaje de remoción	%
<i>Remoción de Arsénico</i>	Velocidad de agitación	Revoluciones por minuto	Rpm
	Cantidad de arsénico	Método colorimétrico con tiras de ensayo	Ppm

1.1.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para llevar a cabo este estudio, se empleó Microsoft Excel como herramienta fundamental para el análisis de datos, utilizando métodos de Estadística Descriptiva e

Inferencial como el coeficiente Pearson y pruebas de normalidad. La información se evaluará a través de técnicas cuantitativas específicas en el ámbito estadístico. Además, se utilizarán gráficos y tablas estadísticas para presentar los resultados obtenidos a partir de los instrumentos de recolección. Posteriormente, se aplicarán diversos estadígrafos para completar el análisis. La fórmula utilizada para calcular la eficiencia de remoción es la siguiente:

Ecuación 1:

Cálculo del porcentaje de remoción

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{V_i - V_f}{V_i} * 100$$

Donde:

V_i = *valor inicial del parámetro*

V_f = *valor final del parámetro*

2.4.5 Consideraciones éticas

Esta investigación se enfocó en examinar la eficacia del extracto de *Moringa oleífera* como medio para la eliminación del arsénico, con una sólida base en principios de responsabilidad ambiental. El estudio subraya el compromiso con la conservación del entorno natural y la integridad en el manejo de la propiedad intelectual. Se garantizaron el respeto a los derechos de las instituciones involucradas y se aplicó el mismo nivel de ética al tratar artículos científicos, libros y tesis utilizados en el análisis.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este apartado se ha explorado cómo varían las condiciones experimentales, enfocándose en la eliminación de contaminantes específicos y la eficacia de la *Moringa oleífera*. Los resultados obtenidos a través del monitoreo y análisis se representaron gráficamente mediante un diagrama de evolución de muestras y una tabla de cambios, facilitando así la evaluación de los resultados alcanzados.

3.1 Nivel de arsénico en el agua

Se determinó el nivel de arsénico en las muestras de agua extraídas del Río Chillón, ubicado en el Distrito de Puente Piedra, utilizando técnicas de laboratorio especializadas. En la primera muestra (N°1), el arsénico se encontró en una concentración inicial de 0,06 mg/L As. La segunda muestra (N°2) presentó una concentración de 0,05 mg/L As, mientras que la tercera muestra (N°3) mostró un nivel de 0,08 mg/L As.

Tabla 4:

Análisis del arsénico

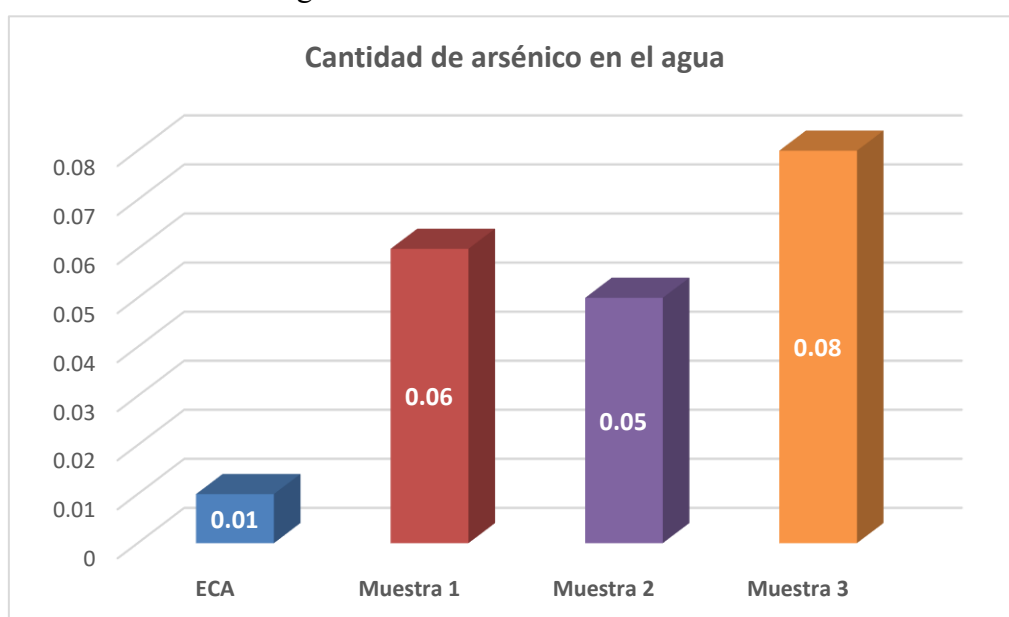
Contaminante	Estándar de Calidad Ambiental (ECA)	Unidad de medida	Resultados obtenidos de las muestras		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Arsénico	0,010	mg/L	0,06 mg/L	0,05 mg/L	0,08mg/L

En la tabla N° 4. Los análisis efectuados a las aguas del río Chillón revelan preocupaciones significativas respecto a los niveles de Arsénico (As). En particular, se ha encontrado que la primera muestra supera el estándar de calidad ambiental (ECA) en un factor de hasta seis veces, mientras que la segunda muestra sobrepasa dicho límite hasta en cinco veces. La

tercera muestra, sin embargo, presenta una concentración de arsénico que excede aún más el límite establecido. Para llevar a cabo esta evaluación, se empleó el test de Arsénico de la marca MQuant TM, el cual permite una determinación semicuantitativa mediante la comparación visual con una escala colorimétrica en el área de reacción de la prueba.

Figura 6:

Cantidad de arsénico en el agua de las muestras del Rio Chillón



En la gráfica N° 06, se ha llevado a cabo una evaluación de la calidad del agua en el río Chillón, observándose que el nivel de arsénico en las muestras supera los límites establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), que es de 0,010 mg/L. La primera muestra analizada presentó una concentración de 0,06 mg/L, excediendo en seis veces el estándar de calidad ambiental (ECA). La segunda muestra mostró un valor de 0,05 mg/L, también por encima del ECA, y la tercera muestra reveló una concentración de 0,08 mg/L, que supera el límite en ocho veces. Dado que la muestra con la mayor concentración de arsénico es la número 3, con 0,08 mg/L, se ha decidido utilizar esta muestra para las investigaciones subsiguientes.

Tabla 5:

ECA establecido para la categoría 3 (Bebida de animales y riego de vegetales).

Parámetro	ECA – Categoría 3
Arsénico	0,01 mg/L

3.2 Tratamiento del agua

3.2.1 Tratamiento de agua con *Moringa oleífera*

Se aplicó el bioadsorbente de *Moringa oleífera* en las aguas contaminadas de Arsénico de las aguas del Rio Chillón.

Tabla 6:

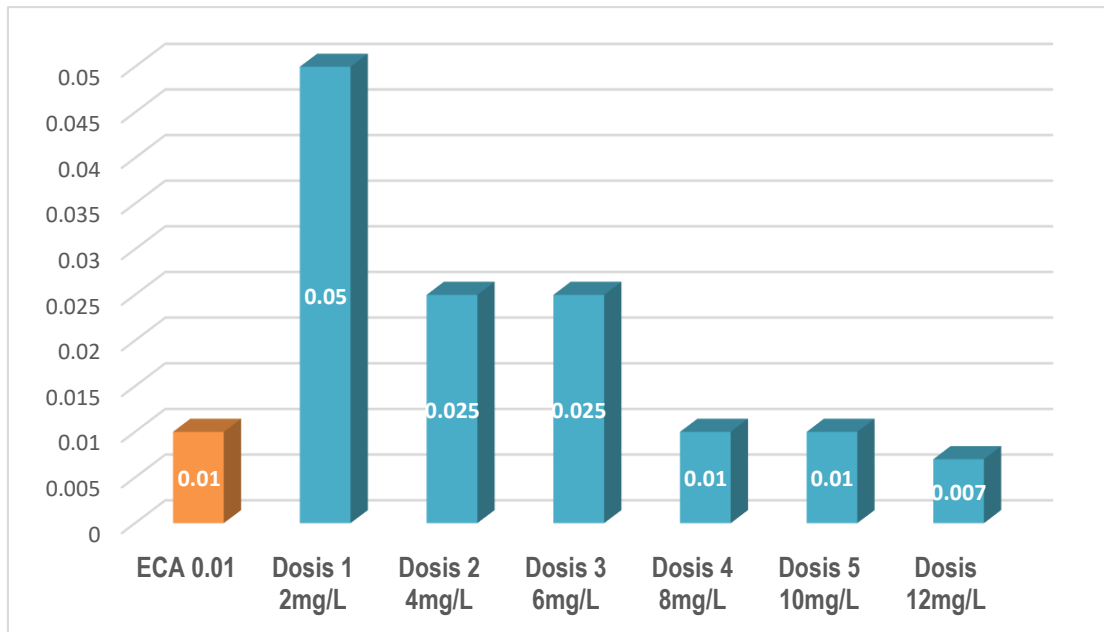
Dosis de *Moringa oleífera* aplicadas en el equipo “pruebas de jarras”

Dosis	Parámetro	Resultados	Unidad	Equipo
D1 2gr	Concentración de Arsénico (As)	0,05	Ppm	Arsenic test (colorimetría)
D2 4gr	Concentración de Arsénico (As)	0,025	Ppm	Arsenic test (colorimetría)
D3 6gr	Concentración de Arsénico (As)	0,025	Ppm	Arsenic test (colorimetría)
D4 8gr	Concentración de Arsénico (As)	0,010	Ppm	Arsenic test (colorimetría)
D5 10gr	Concentración de Arsénico (As)	0,010	Ppm	Arsenic test (colorimetría)

D6	12gr	Concentración de Arsénico (As)	0,007	Ppm	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)
-----------	------	-----------------------------------	-------	-----	---------------------------------------

La evaluación del impacto de diversas concentraciones de *Moringa oleífera* en el tratamiento de la muestra de agua N°3, que inicialmente contenía 0,08 mg/L de arsénico, reveló resultados interesantes. Se utilizaron seis niveles distintos de dosis para observar la eficacia de cada uno. Al analizar los resultados, se encontró que la primera dosis (D1) redujo la concentración de arsénico a 0,05 ppm. Las dosis D2 y D3 lograron disminuir el arsénico a 0,025 ppm. En el caso de las dosis D4 y D5, se alcanzó una reducción de arsénico a 0,010 ppm, correspondientes a 8 gramos y 10 gramos de *Moringa oleífera*, respectivamente. Finalmente, la dosis D6 mostró la mayor eficacia, reduciendo el arsénico a 0,007 ppm, lo que la posiciona como la más efectiva entre todas las aplicadas.

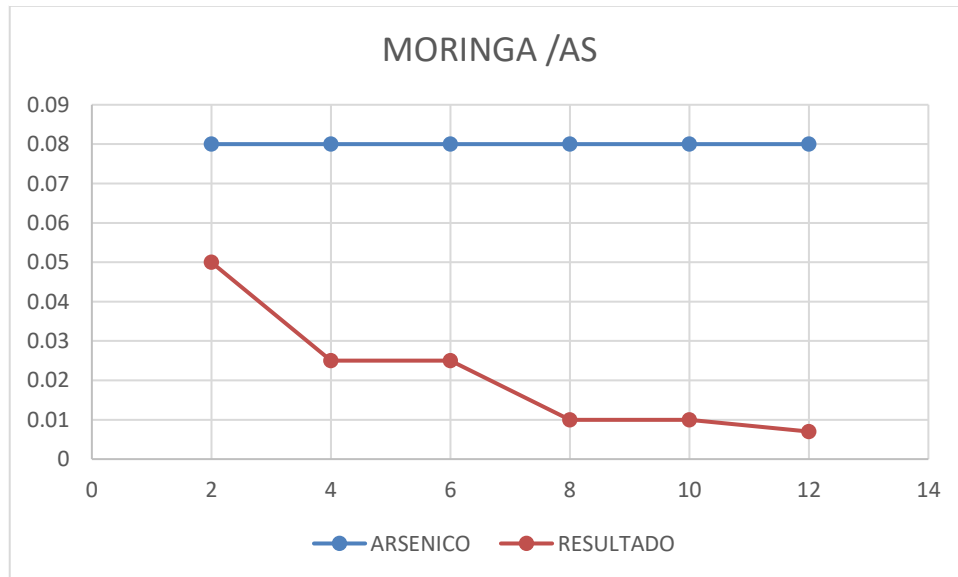
Figura 7:
Cantidad de arsénico en el agua tratada con *Moringa oleífera*



En la figura N° 7, se aplicaron 6 dosis diferentes de bioadsorbente de *Moringa oleífera*. Los resultados logrados en las muestras de agua nos indica que la dosis 4 (8mg/L) y dosis 5 (10mg/L) y dosis 6 (12mg/L) fueron las que mejor removieron el arsénico, llegando a obtener una concentración de 0,007 mg/L, menor a lo que estable el ECA, CATEGORIA 3.

Figura 8:

Cantidad de contaminante reducido (moringa)



Coefficiente de correlación Pearson – *Moringa oleífera*

A partir del análisis de la relación entre las variables, se observa una asociación inversa; esto sugiere que la cantidad final de arsénico no tiene un impacto directo en el porcentaje de eliminación utilizando moringa, con una tasa de 29,8%. Esto implica que a medida que aumenta el porcentaje de eliminación, disminuye la cantidad de

arsénico. De manera análoga, el valor de significancia bilateral fue mayor a 0,05, lo que indica que no hay una conexión significativa entre las variables.

Tabla 7:

Correlación Pearson remoción de arsénico con dosis de *Moringa oleífera*

		Dosis de moringa	Remoción de arsénico
Dosis de moringa	Correlación de Pearson	1	-0,298
	Significancia (bilateral)	0	0,567
	N (datos)	6	6
Remoción de arsénico	Correlación de Pearson	-0,298	1
	Significancia (bilateral)	0,567	0
	N (datos)	6	6

3.2.2 Tratamiento de agua con cascara de naranja

Se aplicó el bioadsorbente de *cascara de naranja* en las aguas contaminadas de Arsénico de las aguas del Rio Chillón.

Tabla 8:

Dosis de cascara de naranja aplicadas en el equipo “pruebas de jarras”

Dosis	Parámetro	Resultados	Unidad	Equipo	
D1	2gr	Concentración de Arsénico (As)	0,07	Ppm	Arsenic test (colorimetría)
D2	4gr	Concentración de Arsénico (As)	0,038	Ppm	Arsenic test (colorimetría)
D3	6gr	Concentración de Arsénico (As)	0,035	Ppm	Arsenic test (colorimetría)

D4	8gr	Concentración de Arsénico (As)	0,035	Ppm	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)
D5	10gr	Concentración de Arsénico (As)	0,025	Ppm	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)
D6	12gr	Concentración de Arsénico (As)	0,01	Ppm	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)

Los resultados obtenidos del tratamiento aplicado con diferentes dosis de cascara de naranja a la muestra de agua N°3 que tuvo 0,08 mg/L As inicial. Para ello, se trabajó con 6 cantidades diferente y como resultado se obtuvo que; en la dosis D1 solo se removi6 arsénico a 0,07 ppm, en la dosis D5 se removi6 0,025 ppm, mientras que las dosis D6 removi6 0,01 ppm siendo esta dosis la m6s efectiva y llegando a lo establecido por el ECA – CATEGORIA 3.

Figura 9:

Cantidad de arsénico en el agua tratada con cascara de naranja

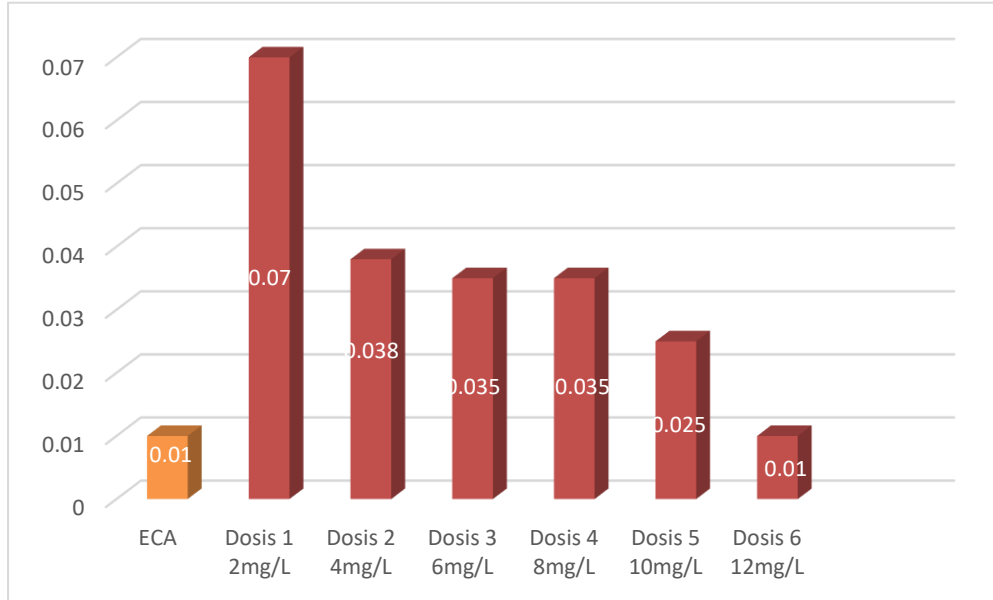
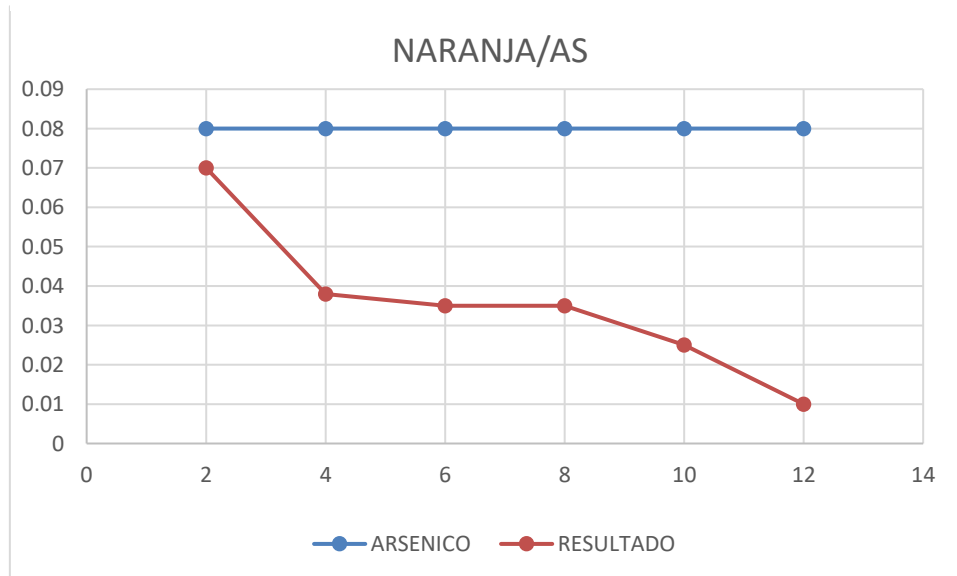


Figura 10:

Cantidad de contaminante reducido (naranja)



Coefficiente de correlación Pearson – Cascara de Naranja

La relación observada entre las variables revela una conexión inversa; esto indica que la cantidad final de arsénico no tiene un impacto directo en el porcentaje de eliminación

cuando se utiliza moringa, dado que sólo un 23% de la variabilidad en la remoción está explicada por la dosis de arsénico. Esto sugiere que a medida que el porcentaje de eliminación aumenta, la dosis de arsénico tiende a disminuir. Además, el valor de significancia bilateral fue mayor que 0,05, lo que implica que no hay una asociación fuerte entre las variables.

Tabla 9:

Correlación Pearson remoción de arsénico con dosis de cascara de naranja

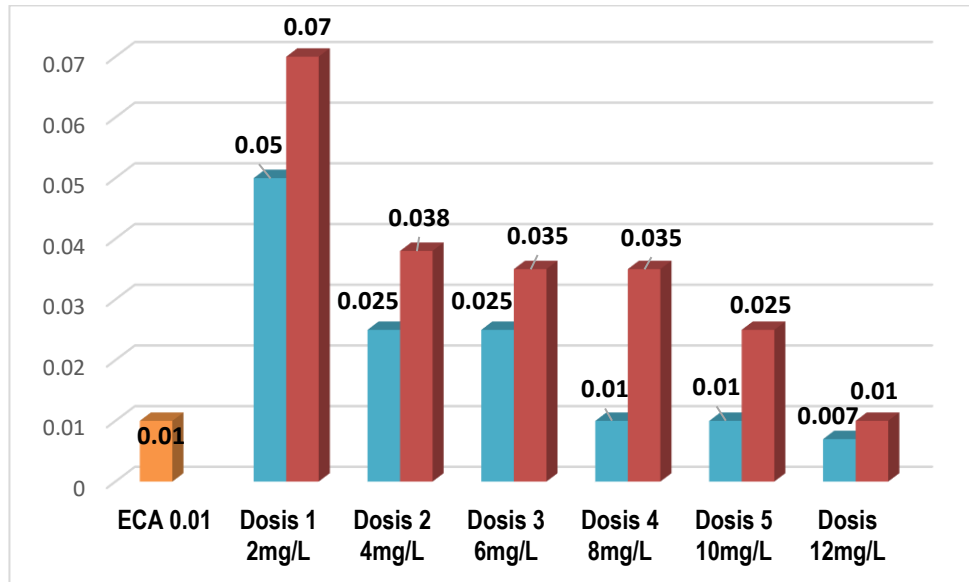
		Dosis de cascara de naranja	Remoción de arsénico
Dosis de cascara de naranja	Correlación de Pearson	1	-0,233
	Significancia (bilateral)	0	0,657
	N (datos)	6	6
Remoción de arsénico	Correlación de Pearson	-0,233	1
	Significancia (bilateral)	0,657	0
	N (datos)	6	6

Comparativo de concentración de bioadsorbentes

Luego de aplicar el bioadsorbente de *moringa oleífera* y *cascara de naranja* en las aguas contaminadas con Arsénico de las aguas del Rio Chillón se procedió a realizar un comparativo de cuál de los bioadsorbente es más eficaz según las concentraciones de casa tratamiento.

Figura 11:

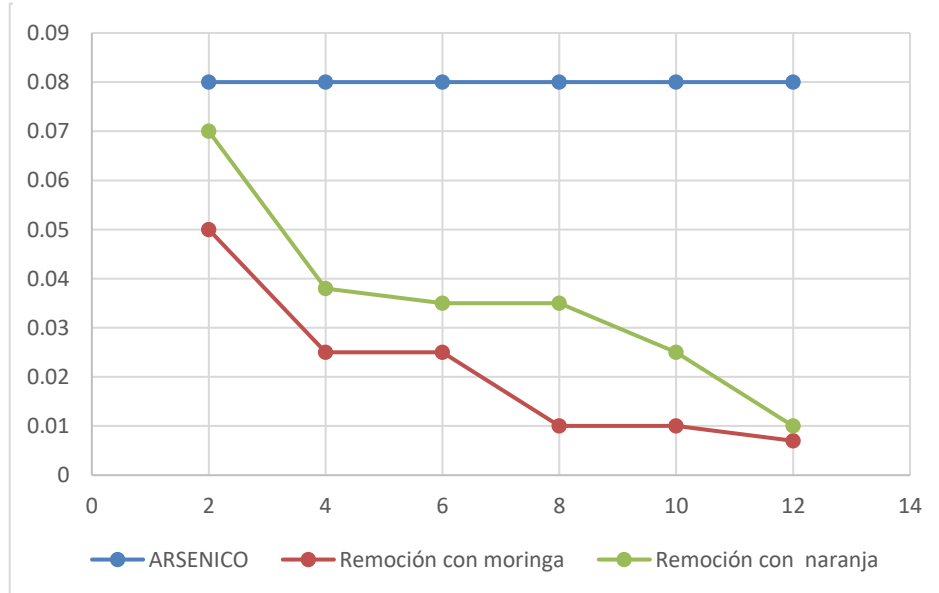
Remoción de arsénico con ambos bioadsorbentes aplicados



Los resultados obtenidos aplicando diferentes dosis de *moringa oleífera* y *cascara de naranja* muestra que ambos bioadsorbentes llegaron a remover arsénico en diferentes dosis. Se observa que en la dosis de 6mg/L se tuvo una remoción de 0,025ppm en cuanto a moringa oleífera, mientras que la cascara de naranja removió 0,035ppm; no llegando al ECA establecido. En la dosis de 10mg/L se tuvo una remoción de 0,01ppm con moringa oleífera al igual que la dosis anterior llegando al ECA establecido; la cascara de naranja logró remover 0,025ppm de arsénico, no llegando al ECA establecido. Finalmente, en la dosis de 12mg/L, ambos bioadsorbentes lograron llegar al ECA establecido en la CATEGORIA 3, teniendo para la moringa oleífera un 0,007ppm y 0,01ppm de cascara de naranja.

Figura 12:

Contaminante reducido (moringa y naranja)



3.1.8. Porcentaje de remoción con la moringa oleífera

Se analizó la remoción de arsénico en el agua de la muestra extraída del rio Chillón, luego de haber aplicado el polvo de las semillas de *Moringa oleífera*.

Tabla 10:

Porcentaje de remoción de arsénico por cada dosis de *Moringa oleífera*

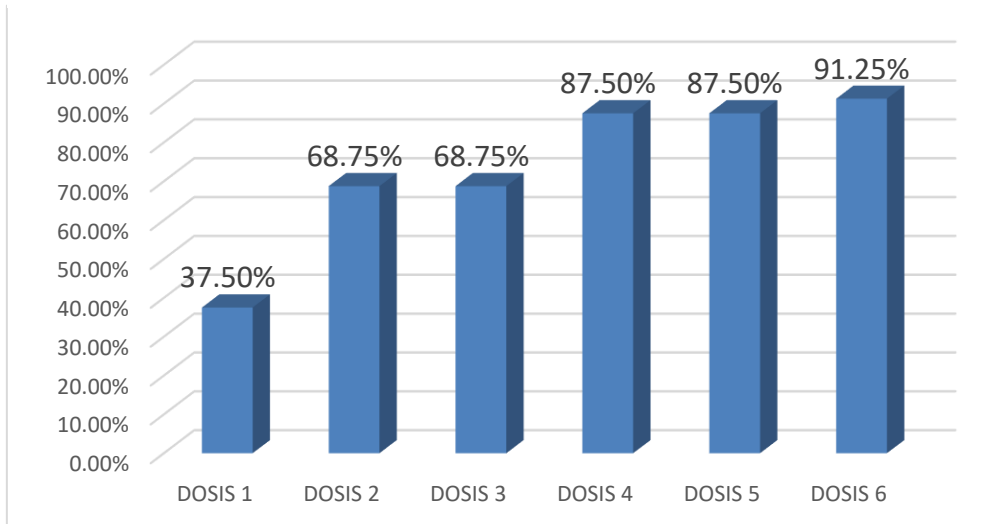
Dosis	Tiempo de coagulación (min)		Cantidad	Parámetro	Equipo	Porcentaje de remoción
	Rápida	Lenta				
D1	30	15	2gr	Concentración de arsénico (As)	Arsenic test (colorimetría)	37,5%
D2	30	15	4gr	Concentración de arsénico (As)	Arsenic test (colorimetría)	68,75%

D3	30	15	6gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)	68,75%
D4	30	15	8gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)	87,5%
D5	30	15	10gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)	87,5%
D6	30	15	12gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)	91,25%

En la tabla 6, Se llevó a cabo una serie de experimentos utilizando diversas concentraciones de coagulante. Los resultados en términos de eliminación de arsénico en el agua del río Chillón mostraron variaciones notables. Con una primera aplicación de 2 mg del coagulante, la eliminación alcanzó un 37,5%. Al aumentar la dosis a 4 mg y 6 mg, la tasa de eliminación se incrementó a un 68,74%. En dosis mayores, de 8 mg y 10 mg, se logró una eliminación del 87,5%. Finalmente, con la dosis más alta de 12 mg, la eliminación alcanzó un 91,25%, marcando el porcentaje más alto de eliminación. Estos resultados demuestran que un mayor aumento en la cantidad de coagulante resulta en una mayor eficacia en la remoción de arsénico.

Figura 13:

Porcentaje de remoción con la *Moringa oleífera*



3.2.3 Porcentaje de remoción con la cascara de naranja

Se analizó la remoción de arsénico en el agua de la muestra extraída del rio Chillón, luego de haber aplicado el polvo de las semillas de *cascara de naranja*.

Tabla 11:

Porcentaje de remoción de arsénico por cada dosis de cascara naranja

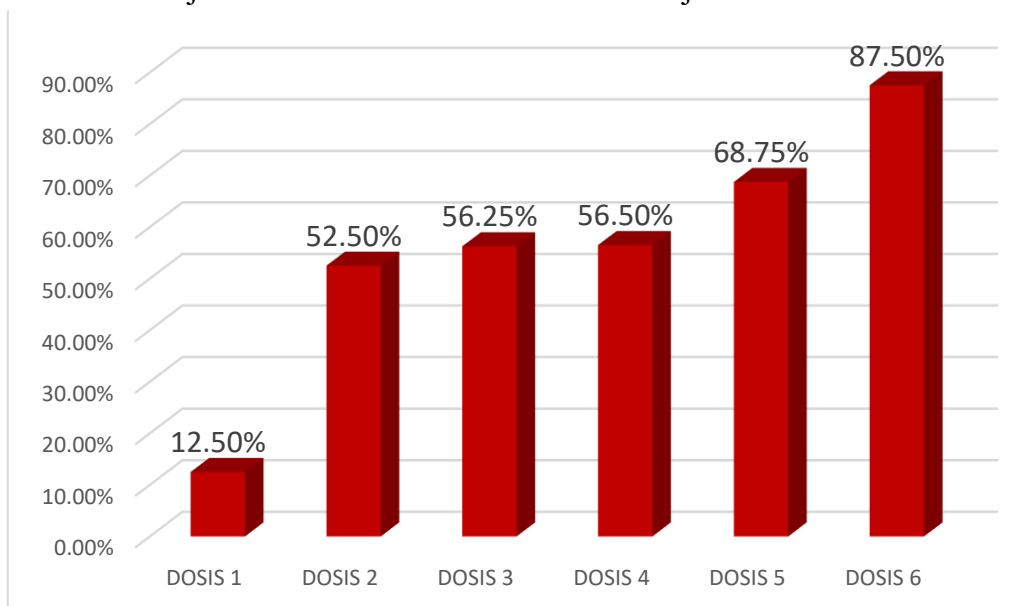
Dosis	Tiempo de coagulación (min)		Cantidad	Parámetro	Equipo	Porcentaje de remoción
	Rápida	Lenta				
D1	30	15	2gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test (colorimetría)</i>	12,5%
D2	30	15	4gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test (colorimetría)</i>	52,5%

D3	30	15	6gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)	56,25%
D4	30	15	8gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)	56,5%
D5	30	15	10gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)	68,75%
D6	30	15	12gr	Concentración de arsénico (As)	<i>Arsenic test</i> (colorimetría)	87,5%

En la tabla 7, Se llevaron a cabo pruebas utilizando seis concentraciones distintas del agente coagulante. Los porcentajes de reducción del arsénico en las muestras de agua del río Chillón mostraron variaciones notables. Con una primera aplicación de 2 mg del coagulante, la reducción alcanzó el 37,5%. Al incrementar la dosis a 4 mg y 6 mg, se observó una mejora, alcanzando una reducción del 68,74%. Con dosis de 8 mg y 10 mg, el porcentaje de reducción subió a un 87,5%. Finalmente, con la dosis más alta de 12 mg, se logró una reducción del 91,25%, evidenciando que la eficacia en la remoción del arsénico mejora con el aumento en la cantidad de coagulante aplicado.

Figura 14:

Porcentaje de remoción con la cascara de naranja



3.2.4 Contrastación de hipótesis

La evaluación de la moringa oleífera desde una perspectiva estadística revela la importancia de considerar la hipótesis sobre su eficacia en la eliminación de arsénico. En este análisis, se examina el valor p asociado a las variables en cuestión. Al observar que este valor no alcanza el umbral de 0,05, no es posible afirmar que exista una diferencia relevante. En otras palabras, el resultado no alcanza un nivel de significancia que permita validar la hipótesis planteada.

a) Moringa Oleífera

Significancia (bilateral)	0,567
---------------------------	-------

b) Cascara de naranja

Significancia (bilateral)	0,657
---------------------------	-------

El valor p nos muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado que hemos obtenido suponiendo que la hipótesis nula H_0 es cierta. Se suele decir que valores altos de p no permiten rechazar la H_0 , mientras que valores bajos de p sí permiten rechazar la H_0 .

Ha: La (moringa oleífera) y cascaras de naranja (*Citrus sinensis*) como bioadsorbentes actúan eficientemente en la remoción del arsénico en aguas del rio Chillón, 2024

H_0 : La (moringa oleífera) y cascaras de naranja (*Citrus sinensis*) como bioadsorbentes no actúan eficientemente en la remoción del arsénico en aguas del rio Chillón, 2024

Aceptamos la Ha y rechazamos la H_0

Ha: La (moringa oleífera) y cascaras de naranja (*Citrus sinensis*) como bioadsorbentes actúan eficientemente en la remoción del arsénico en aguas del rio Chillón, 2024

Figura 15:

Prueba de normalidad remoción de arsénico con dosis de *Moringa oleífera*

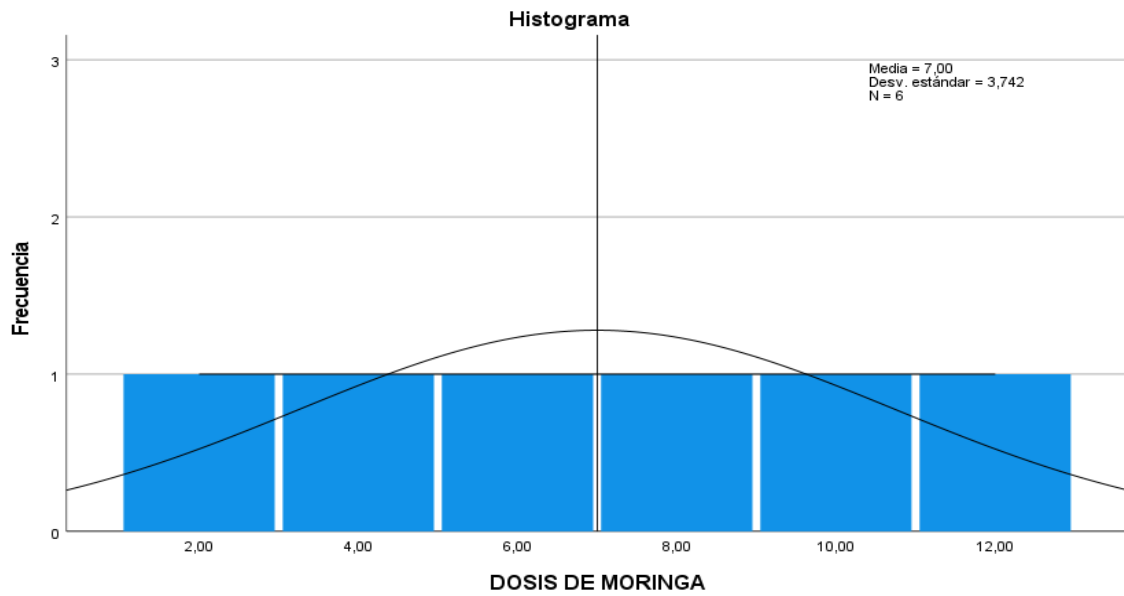
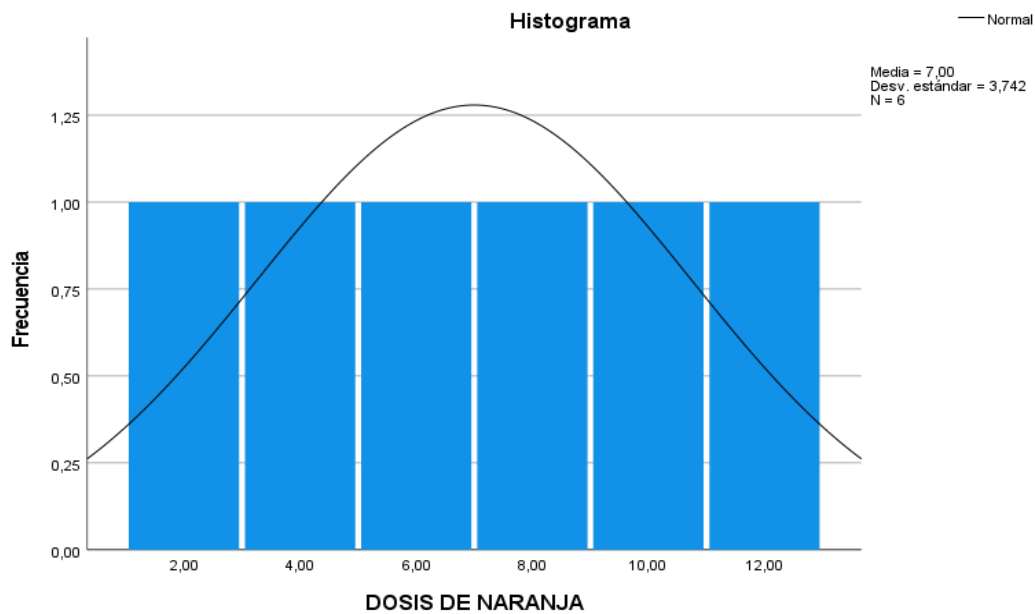


Figura 16:

Prueba de normalidad remoción de arsénico con dosis de cascara de naranja



CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

Las limitaciones encontradas en nuestro trabajo fueron el alto crecimiento del caudal en época de crecida, falta de información de proyectos sobre estos temas y el difícil acceso para la toma de muestras, debido a la zona rural del sitio.

Con relación a lo expuesto, en esta investigación se determinó y comparo la mejor dosis de la moringa (*Moringa oleífera*) y cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) para la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024. Luego de analizar y contrastar los resultados obtenidos aplicando diferentes dosis de *moringa oleífera* y *cascara de naranja* muestra que ambos bioadsorbentes llegaron a remover arsénico en diferentes dosis. Se observa que en la dosis de 12mg/L, ambos bioadsorbentes lograron llegar al ECA establecido en la CATEGORIA 3, teniendo para la moringa oleífera un 0,007ppm y 0,01ppm de cascara de naranja.

Del mismo modo Hernandez, & otros (2018), rrealizo una investigación sobre la validez de la Moringa oleífera como opción de remoción de plomo y arsénico en agua potable. Esta investigación nos da a conocer la validez de Moringa oleífera en la descontaminación de plomo y arsénico en lo cual se realiza una explicación profunda de cuáles son los compuestos activos que permiten este procedimiento. Se realizaron muestras de las cuales una estuvo con el contaminante de plomo y la segunda con arsénico, la dosis fue de 1,00 mg/l. Estas muestras se vertieron en frascos de un litro cada uno, se realizaron tres dosis de hidrato de carbono de gramíneas: 0,25; 0,50 y 1,00 g/l y a cada hora por un intervalo de tres horas por dosis evaluada. Se realizó el removido del 80% de arsénico, aglutinamiento auténtico de 1,025 ppm, los valores dados por el reglamento para agua de consumo humano NSO

13.07.01:08 (0,01 mg/l As) no se cumplieron, se obtuvo una aglomeración zaguera de 0,183 mg/l; para el plomo se logró una remoción del 98%, se cumple el reglamento para brebaje bebible NSO 13.07.01:08 (0,01 mg/l Pb), además presentaron títulos inferiores al máximo consentido por la normativa.

Respecto al OE1 se demostró que las semillas de moringa tienen un alto nivel de adsorción para metales pesados, si bien es cierto en el estudio realizado por (Hernandez, & otros, 2018) no se cumplió con el ECA establecido, se denota que agregando más gramos de tratamiento se puede aumentar la remoción y cumplir con la normativa.

Asimismo, también se evaluó los parámetros en las muestras de aguas del Río Chillón antes y después de aplicar el tratamiento de remoción a partir de la moringa (moringa oleífera) y cascaras de naranja (*Citrus sinensis*), en este caso se tomó 3 puntos de monitoreo, aguas arriba, centro y aguas abajo, dentro del Río chillon en el distrito de Puente Piedra, tras el análisis obtenido por laboratorio usando el test marca MQuant TM, se obtuvo las siguientes concentraciones de As (punto1: 0,06ppm; punto2; 0,05ppm; punto3: 0,08ppm), siendo la concentración más alta la del punto 3, excediendo el ECA que es 0,01ppm.

En un estudio generado por investigadores de la OMS, se generó una investigación sobre el peligro del arsénico en las aguas de consumo humano del Perú, observando que en diferentes distritos el agua potable muestra una contaminación con este metaloide de manera generalizada, que supera los límites sobre calidad de fluido que pertenece al reglamento de aguas peruano, y también los generados por la OMS, indicando de que es relevante mayor investigación y acción ante este punto. En el 86% de las muestras subterráneas investigadas el arsénico supera el límite de 10mg/L establecido por la OMS para el agua de consumo

humano, de igual manera todas las muestras recogidas a lo largo de la trayectoria del río Chillón, tenían concentraciones superiores de los establecidos por la OMS (OMS, 2022).

Por consiguiente, se determina que, en comparación a la investigación de la OMS, los niveles de contaminante de arsénico siguen estando por encima del ECA establecido, siendo hasta 8 veces mayor, lo cual es perjudicial para la salud de los pobladores que viven aledaños al río.

Adicional se determinó el porcentaje de remoción del arsénico usando la moringa (moringa oleífera) y cascara de naranja (*Citrus sinensis*). El porcentaje de remoción óptimo para la Moringa oleífera fue de 91,25%, mientras que para la cascara de naranja fue de 87,5%, ambas a concentración de 12gr, teniendo tiempo de coagulación rápida de 30min y lenta a 15min.

En el marco de nuestro estudio, se llevó a cabo una investigación por Laura (2018) titulada "Análisis de la eficacia del bioadsorbente natural en la eliminación de metales pesados en aguas del río Chili". En esta investigación, Laura evaluó la efectividad de un tratamiento basado en coagulación y floculación para purificar aguas contaminadas con arsénico (As) y cromo (Cr). El tratamiento empleó pectina, un bioadsorbente derivado de cáscaras de cítricos, específicamente de naranja, limón y mandarina. El proceso comenzó con la selección de las cáscaras de estos frutos, que fueron sometidas a un proceso de limpieza, secado y trituración. Posteriormente, las cáscaras fueron desmetoxiladas utilizando hidróxido de sodio (NaOH) y luego reticuladas con una solución de cloruro de calcio (CaCl₂), ajustando el pH a 5 y manteniendo una agitación constante.

Los resultados mostraron una eficiencia de eliminación del 43,13% de arsénico y del 17,65% de cromo. En particular, la pectina extraída del limón consiguió reducir el arsénico en un

40,89% y el cromo en un 11,76%. Por otro lado, la pectina de mandarina demostró una capacidad notable al eliminar un 43,64% de arsénico y un 71,95% de plomo. Se determina entonces que nuestro experimento utilizando cascara de naranja a 12 gramos logro tener mejores resultados que la investigación realizada por (Laura, 2018), teniendo un porcentaje de remoción de 87,5%, siendo apto para utilizar en eliminación de metales pesados en aguas contaminadas.

Finalmente se describe este proyecto como viable, ya que se cumplió con los procesos establecidos para remoción de As gracias al uso de bioadsorbentes naturales, se cumplió con los porcentajes de remoción esperados, además que cumple con el ECA establecido. Este proyecto profundiza la información sobre alternativas sostenibles y naturales para descontaminar cuerpos de agua con metales pesados, se espera que pueda ser usado como antecedente para futuras investigaciones, así como su uso practico para la población cercana o autoridades municipales en el desarrollo de practicas naturales en el cual sus consecuencias de uso no tienen efectos secundarios como los bioadsorbentes químicos.

Se recomienda tamizar bien los bioadsorbentes antes de realizar la prueba de jarras, ya que el compuesto activo se activa mejor con esto, la investigación realizada infiere el gran problema de salud para los pobladores cercanos al Rio Chillón, se promueve el uso de estos descontaminantes naturales para poder ayudar al sector.

CONCLUSIONES

1. Los análisis iniciales de las muestras de agua del río Chillón revelaron concentraciones de arsénico que exceden significativamente el estándar de calidad ambiental (ECA) de 0,01 mg/L establecido por el Ministerio del Ambiente (MINAM). Las concentraciones encontradas fueron: Muestra 1: 0,06 mg/L (6 veces el ECA), Muestra 2: 0,05 mg/L (5 veces el ECA), Muestra 3: 0,08 mg/L (8 veces el ECA). Estas concentraciones elevadas subrayan la necesidad urgente de tratamientos efectivos para reducir los niveles de arsénico a valores seguros.
2. En el estudio de ambos descontaminantes se realizó ensayos mediante la prueba de jarras, en la que se determinó dosis efectivas de la Moringa de 8gr, 10gr y 12gr, siendo la más representativa la de 12 gr, en la cascara de naranja, la mejor dosis fue de 12gr.
3. Se demostró que el mejor porcentaje de remoción en Arsénico para aguas del Río Chillón, tras el uso de Moringa es de 91,25% en el cual se logró contrarrestar el Arsénico de 0,08ppm a 0,007ppm, mientras que la cascara de naranja tuvo un 87,5% de remoción, mitigando el contaminante de 0,08ppm a 0,01ppm, ambos cumplen con la normativa ECA categoría 3 (0,01ppm).
4. Al comparar ambos bioadsorbentes, la moringa oleífera demostró ser más eficaz que las cáscaras de naranja en la reducción del arsénico en todas las dosis. Con 6 g, la moringa redujo el arsénico a 0,025 ppm frente a 0,035 ppm de las cáscaras. Con 10 y 12 g, ambos lograron niveles por debajo del ECA, pero la moringa tuvo una ligera ventaja en la reducción del arsénico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales. Lima.
- ADNAgro. (2016). Moringa Oleífera: Árbol multiusos de interés forestal . Negocio Agroalimentario y Cooperativo, 12.
- ANA. (2013). Plan Nacional de Recursos Hídricos. Lima: Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/plan-nacional-de-recursos-hidricos>
- ANA, A. N. (2009). Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Perú.
- AQUAE. (27 de Septiembre de 2021). AQUAEFundacion. Obtenido de AQUAEFundacion.
- Arias, M. (2017). Qué significa realmente el valor de p. ScieELO.
- Arrojo, P. (2022). Relator especial para los derechos humanos al agua potable y saneamiento. Naciones Unidas , 20.
- Bosqued, L. R. (12 de Febrero de 2020). euronews. Obtenido de euronew: <https://es.euronews.com/2020/02/12/el-rio-chillon-de-lima-excede-en-12-veces-los-limites-de-contaminacion>
- Casanova, Cetzal, Díaz, Chay, Oros, Piñeiro, & Gonzales. (2018). ÁRBOL EXÓTICO CON GRAN POTENCIAL PARA LA GANADERÍA ECOLÓGICA EN EL TRÓPICO. AgroProductividad.
- Castillo, M., & Avendaño, E. (2020). Efectos de las semillas de Moringa (*Moringa oleífera* Lam.). ScieELO.
- Science Friday. (2023). How This Chemist Is Turning Agricultural Waste Into Water Filters. Science Friday Initiative.
- CEPLAN, E. C. (23 de Abril de 2023). gop.pe. Obtenido de gop.pe: <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/noticias/748658-el-impacto-negativo-de-las-actividades-humanas-en-el-medio-ambiente-en-el-peru>
- Distrito.pe. (03 de Abril de 2022). Obtenido de Distrito.pe: <https://www.distrito.pe/distrito-huaraz.html>

- Estrada, D. (2016). “Disminución de arsénico mediante un filtro de diatomita del agua de afloramiento subterráneo en el campamento Cedro-Pataz”. Trujillo.
- FAO. (25 de Junio de 2016). Agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb9722en>.
- Fawzy, M., & El-Kady, M. F. (2019). *Advances in wastewater treatment and resource recovery*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-06084-0>
- Fernandez, A. (2014). El agua: un recurso esencial. REDALYC, 25.
- Fundacion, A. (2021). Contaminación del agua .
- Geographic, N. (2021). El impacto de la contaminación en la salud y la calidad de vida.
- Gomez, L. F. (2018). CAMBIOS DE USOS DE SUELO EN PASO DE LOS LIBRES, CORRIENTES, ARGENTINA ENTRE 1990 Y 2016 - Impacto del Proceso de Expansión Urbana. Revista Geográfica Digital.
- Gomez, M. (2016). METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN. TOLUCA: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.
- Gonzaga, C. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. CEDAMAZ, 12. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/43/41>
- Gonzales, M., & Alonzo, L. (2010). PERDIDA DE COBERTURA VEGETAL COMO EFECTO DE LA URBANIZACIÓN EN CHETUMAL,. Redalyc.org, 19.
- Hernandez, M., Ventura, G., Bonilla de Torres, B., Rivas, H., Carranza, F., & Palacios, D. (2018). Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto (*Moringa oleifera* Lam.) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano. AGROCIENCIA, 11.
- Huaman, k., & Tejada, A. (2021). DETERMINACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE, CAJAMARCA 2020. Cajamarca-Lima.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Gob.pe. Obtenido de Gob.pe:
<https://www.gob.pe/institucion/inei/tema/censos>
- Jara, G. R. (2021). EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y EL RELLENO SANITARIO DE PÓNGOR, DISTRITO DE INDEPENDENCIA, HUARAZ, ANCASH PERIODO 2015 - 2018. Huaraz: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL.
- Kurniawan, T. A., Chan, G. Y. S., Lo, W. H., & Babel, S. (2006). Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 118(1), 83-98. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.01.021>
- Lagos, A. (2017). Adsorción de cadmio, hierro y plomo en agua artificial utilizando Moringa oleifera Lam. QUITO: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ - COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS.
- López, J., & Ramírez, A. (2019). El uso de residuos agroindustriales en el tratamiento de aguas: avances recientes. *Journal of Environmental Technology*, 32(4), 234-250.
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (18 de Mayo de 2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL. *SciELO*, 9.
- Manzano, F. A., & Velazquez, G. A. (2015). LA EVOLUCIÓN DE LAS CIUDADES INTERMEDIAS EN LA ARGENTINA. *Geo UERJ*.
- Medina, M., Robles, P., Mendoza, P., & Torres, C. (Enero/Marzo de 2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *SciELO*.
- Mejía, J. A. (2022). Huaraz a 52 años del terremoto de 1970: lecciones no aprendidas. *SciELO - Scientific Electronic Library Online*.
- Mendoza, H. (2018). BIOSORCION DE ARSENICO CON SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA. UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO.
- Mite, I., Vinces, M., Palma, G., Lucas, N., & Lucio, L. (2021). ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA CIUDAD DE MANTA . *UNESUM Ciencias*, 20.

- Molano, J. (2016). Tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación-floculación utilizando almidón de *Solanum tuberosum* L. ‘papa’ como alternativa al manejo convencional. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 42.
- OMS. (2022). ARSENICO. Organización Mundial de la Salud.
- ONU, O. d. (Noviembre de 2022). Paz, dignidad e igualdad. Obtenido de Paz, dignidad e igualdad: <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Una%20poblaci%C3%B3n%20en%20crecimiento,y%202000%20millones%20desde%201998>.
- Pomalaza, F., & Victoria, M. (2016). “OPTIMIZACION DEL METODO DE COAGULACION- FLOCULACION PARA LA REMOCION DE ARSENICO DE FUENTES DE AGUA POTABLE EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO TIPO A”. Huancayo-Perú: Universidad del Centro del Perú.
- Rojas, N., Castillo, E., Maicelo, J., Oliva, S., & Salas, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. Boletín de la Asociación española de geografía, <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>.
- Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación . Booksmedicos.org.
- Soares, J., de Moraes, V. H., Alves, O., & Martins, L. (2020). Estudio da dinâmica espaço-temporal do NDVI no Município de Sorriso-MT. Revista Brasileira de Geografia Física, 08.
- UNFPA. (2014). Fondo de Población de las Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.unfpa.org/es/urbanizaci%C3%B3n#readmore-expand>
- Velazquez, M., Peón, I., Zepeda, R., & Jiménez, M. (2016). Moringa (*Moringa oleifera* Lam.): usos potenciales en la agricultura, industria y medicina. Redalyc, 23.
- Verano, P. (2022). El agua que contaminamos y cómo remediar el daño.

Yuan, W. J., Wang, W., Cao, R., Zhang, Y., & Shen, W. (2015). Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River Basin. *ScienceDirect*, 117-126.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

ESTUDIANTE(S): Anampa Arispe, Jean Pierre; Diaz Zamora, Jeison

TÍTULO: "COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA MORINGA (MORINGA OLEÍFERA) Y CASCARAS DE NARANJA (CITRUS SINENSIS) PARA LA REMOCIÓN DE ARSENICO EN LAS AGUAS DEL RIO CHILLON, 2024"

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
PROBLEMA GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	TIPO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN
¿Cuál será la comparación del porcentaje de eficiencia de la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>) para la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024?	<p>H0: La (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>) como bioadsorbentes actúan eficientemente en la remoción del arsénico en aguas del río Chillón, 2024</p> <p>Ha: La (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>) como bioadsorbentes no actúan eficientemente en la remoción del arsénico en aguas del río Chillón, 2024</p>	Determinar y comparar el porcentaje de eficiencia de la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>) para la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024.	Remoción de Arsénico	El tipo de investigación es experimental, cuantitativo, ya que se busca medir con datos numéricos nuestras variables, para comprobar la efectividad del proyecto.	Agua superficial de la Cuenca del Rio Chillon

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	INSTRUMENTO	MUESTRA
¿Cuál será la mejor dosis de la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cáscaras de naranja (<i>citrus sinensis</i>) en la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024?	Se logró determinar la dosis de la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cáscaras de naranja (<i>citrus sinensis</i>) en la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024.	Determinar la mejor dosis de la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cáscaras de naranja (<i>citrus sinensis</i>) en las aguas del río Chillón, 2024.	Moringa (<i>moringa oleifera</i>)	Recolección de datos	Estación 15, puente peatonal ensenada de la Cuenca del Río Chillón
¿Cuáles serán los parámetros en las muestras de aguas del Río Chillón antes y después de aplicar el tratamiento de remoción a partir de la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>)?	Se logró determinar los parámetros en las muestras de aguas del Río Chillón antes y después de aplicar el tratamiento de remoción a partir de la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>).	Evaluar los parámetros en las muestras de aguas del Río Chillón antes y después de aplicar el tratamiento de remoción a partir de la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>).		Análisis de datos	
¿Cuál será el porcentaje de remoción de arsénico usando la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>)?	Se logró hallar el porcentaje de remoción de arsénico usando la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>).	Determinar el porcentaje de remoción del arsénico usando la moringa (<i>moringa oleifera</i>) y cascara de naranja (<i>citrus sinensis</i>).		Cáscaras de naranja (<i>citrus sinensis</i>)	

				MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	
				a) Proceso de coagulación - floculación	
				b) Procedimiento de la prueba de jarras	
				c) Coagulación	
				d) Floculación	

ANEXO 02: FOTOGRAFIAS COMO EVIDENCIA

Muestreo de las aguas superficiales del Río Chillón



ANEXO 03: FOTOGRAFIAS COMO EVIDENCIA



AGITADOR DE JARRAS



MUESTRA DE RIO



REPOSO DE LAS MUESTRAS

ANEXO 05: Reporte de Laboratorio Pre Tratamiento del Río Chillón



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N. LE-056



**INFORME DE ENSAYO N°241877
CON VALOR OFICIAL**

Razón Social : JEISON DIAZ ZAMORA
 Domicilio Legal : Jr. Tacaymano 1956
 Solicitado Por : JEISON DIAZ ZAMORA
 Referencia : Cotización N° 8592-24
 Proyecto : COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA MORINGA OLEIFERA Y CASCARA DE NARANJA PARA LA REMOCIÓN DE ARSENICO EN LAS AGUAS DEL RIO CHILLÓN, 2024
 Procedencia : Río Chillón, Comas
 Muestreo Realizado por : EL CLIENTE
 Cantidad de Muestra : 3
 Producto : Agua natural
 Fecha de Recepción : 07/06/2024
 Fecha de Ensayo : 07/06/2024 al 15/06/2024
 Fecha de Emisión : 15/06/2024

I. Resultados

Código de Laboratorio	241877-01	241877-02	241877-03
Código de Cliente	M-01	M-02	M-03
Fecha de Muestreo	07/06/2024	07/06/2024	07/06/2024
Hora de Muestreo (h)	09:00	09:20	09:40
Tipo de Producto	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial

Lugar de ensayo (Laboratorio)	Unidad	L.C.M.	Resultados		
Instrumental					
Metales Totales					
Arsénico	mg/L	0.004	0.06	0.05	0.08

II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Instrumental		
Metales Totales	EPA Method 200.7 Rev.4.4 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

AA
AIV.11

Alonso Vilca M.
G.C.S.S.A.
C.Q.P N° 587

Este informe es propiedad de Envirotest S.A.C. y no debe ser reproducido, distribuido o utilizado sin el consentimiento escrito de Envirotest S.A.C. Envirotest S.A.C. no se hace responsable de los errores de transcripción o de los daños que puedan ocasionarse por el uso de este informe. Envirotest S.A.C. no garantiza la exactitud de los datos presentados en este informe. Envirotest S.A.C. no se hace responsable de los daños que puedan ocasionarse por el uso de este informe. Envirotest S.A.C. no se hace responsable de los daños que puedan ocasionarse por el uso de este informe.

**** FIN DEL INFORME ****

Anexo 06: Reporte de laboratorio Post Tratamiento con Moringa Oleífera del Río Chillón



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE Acreditación INACAL - DA CON REGISTRO N. LE-056



**INFORME DE ENSAYO N°241912
CON VALOR OFICIAL**

Razón Social : JEISON DIAZ ZAMORA
 Domicilio Legal : Jr. Tacaymano 1956
 Solicitado Por : JEISON DIAZ ZAMORA
 Referencia : Cotización N° 8592-24
 Proyecto : COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA MORINGA OLEIFERA Y CASCARA DE NARANJA PARA LA REMOCIÓN DE ARSENICO EN LAS AGUAS DEL RIO CHILLÓN, 2024
 Procedencia : Río Chillón, Comas
 Muestreo Realizado por : EL CLIENTE
 Cantidad de Muestra : 1
 Producto : Agua natural
 Fecha de Recepción : 19/06/2024
 Fecha de Ensayo : 19/06/2024 al 27/06/2024
 Fecha de Emisión : 27/06/2024

I. Resultados

Código de Laboratorio	241912-01							
Código de Cliente	M-03							
Fecha de Muestreo	19/06/2024							
Hora de Muestreo (h)	09:40							
Tipo de Producto	Agua Superficial							
Lugar de ensayo (laboratorio)								
Tipo de ensayo	Unidad	LCM.	Resultados					
Instrumental								
Metales Totales								
Arsénico	mg/L	0.004	0.05	0.025	0.025	0.010	0.010	0.007

II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Instrumental		
Metales Totales	EPA Method 200.7 Rev.4.4 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

AA
AIV.M

Alonso Vilca M.
GCSSA
C.Q.P N° 587

Los resultados presentados en este informe son válidos únicamente para el laboratorio que los emite y no deben ser utilizados para otros fines. El cliente es responsable de la veracidad de los datos suministrados y de la correcta interpretación de los resultados. Este informe es propiedad de Envirotest y no debe ser reproducido, distribuido o utilizado sin el consentimiento escrito de Envirotest. No se garantiza la exactitud de los resultados si no se cumplen con las condiciones de ensayo establecidas en el presente informe. No se garantiza la exactitud de los resultados si no se cumplen con las condiciones de ensayo establecidas en el presente informe.

“ FIN DEL INFORME ”

Calle B Mz C lote 40 Urb. Panamericana - Lima 31 - Perú, Central Telefónica (511) 522-3758 / 523-1828, RPC: 989 114 649

Código PD-1-PQ-EM-01, Rev. 11, Fecha: 21/02/2020

info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe

Página 1 de

Anexo 07: Reporte de laboratorio Post Tratamiento con Cascara de Naranja del Río Chillón



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - SA CON REGISTRO N° LE-656



**INFORME DE ENSAYO N°241913
CON VALOR OFICIAL**

Razón Social : JEISON DIAZ ZAMORA
 Domicilio Legal : Jr. Tacaymano 1956
 Solicitado Por : JEISON DIAZ ZAMORA
 Referencia : Cotización N° 8592-24
 Proyecto : COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA MORINGA OLEIFERA Y CASCARA DE NARANJA PARA LA REMOCIÓN DE ARSENICO EN LAS AGUAS DEL RIO CHILLÓN, 2024
 Procedencia : Río Chillón, Comas
 Muestreo Realizado por : EL CLIENTE
 Cantidad de Muestra : 1
 Producto : Agua natural
 Fecha de Recepción : 19/06/2024
 Fecha de Ensayo : 19/06/2024 al 27/06/2024
 Fecha de Emisión : 27/06/2024

I. Resultados

Código de Laboratorio	241913-01
Código de Cliente	M-03
Fecha de Muestreo	19/06/2024
Hora de Muestreo (h)	09:40
Tipo de Producto	Agua Superficial

Lugar de ensayo (laboratorio)		Resultados						
Tipo de ensayo	Unidad	L.C.M.						
Instrumental								
Metales Totales								
Arsenico	mg/L	0.004	0.07	0.038	0.035	0.035	0.025	0.01

II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Instrumental		
Metales Totales	EPA Method 200.7 Rev.4.4 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

AA
AIV.M

Alonso Vilca M.
GCSSA
C.Q.P N° 587

Este informe es válido solo para el propósito que indica y no debe ser usado para otros fines. El cliente es responsable de la veracidad de la información proporcionada y de cualquier error que pueda ocurrir. El laboratorio no se responsabiliza por daños o perjuicios que puedan derivarse de la utilización de este informe. Este informe es propiedad de Envirotest S.A.C. Los resultados de este informe no deben ser usados para fines de litigio. Este informe es válido solo para el propósito que indica.

**** FIN DEL INFORME ****

Anexo 08: Calculo de porcentaje de remoción con la moringa oleífera

a) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 1

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.05}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 37.5 \%$$

b) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 2

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.025}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 68.75\%$$

c) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 3

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.025}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 68.75\%$$

d) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 4

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.010}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 87.5\%$$

e) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 5

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.010}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 87.5\%$$

f) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 6

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.007}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 91.25\%$$

Anexo 09: Calculo de porcentaje de remoción con la casacara de naranja

a) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 1

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.07}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 12.5 \%$$

b) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 2

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.038}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 52.5\%$$

c) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 3

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.035}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 56.25\%$$

d) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 4

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.035}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 56.5\%$$

e) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 5

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.025}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 68.75\%$$

f) Cálculo del porcentaje de remoción de la Dosis 6

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{0.08 - 0.01}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = 87.5\%$$