



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**EFFECTO DEL ENDOCARPIO DE ACEITUNA EN LA BIOADSORCIÓN DE CADMIO
(II) Y ARSÉNICO (V) DEL DRENAJE ÁCIDO DE LA UNIDAD MINERA NIVEL
QUINTO – ALGAMARCA 2023**

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Rodriguez Julca, Jadir Alexander

Asesora:

Ventura Barrera, Carmen Luz

ORCID: 0000-0003-0603-9777

Jurado:

Alva Velásquez, Miguel

Portuguez Yactayo, Hubert Orlando

Vasquez Aranda, Ahuber Omar

Lima - Perú

2024



EFFECTO DEL ENDOCARPIO DE ACEITUNA EN LA BIOADSORCIÓN DE CADMIO (II) Y ARSÉNICO (V) DEL DRENAJE ÁCIDO DE LA UNIDAD MINERA NIVEL QUINTO – ALGAMARCA 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1%
6	1library.co Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EFFECTO DEL ENDOCARPIO DE ACEITUNA EN LA BIOADSORCIÓN DE CADMIO (II)
Y ARSÉNICO (V) DEL DRENAJE ÁCIDO DE LA UNIDAD MINERA NIVEL QUINTO –
ALGAMARCA 2023

Línea de Investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales, Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Rodriguez Julca, Jadir Alexander

Asesor:

Ventura Barrera, Carmen Luz
(ORCID: 0000-0003-0603-9777)

Jurado:

Alva Velásquez, Miguel
Portuguez Yactayo, Hubert Orlando
Vasquez Aranda, Ahuber Omar

Lima - Perú

2024

Dedicatoria

A Dios, por forjar mi camino y guiarme en la culminación de la presente tesis.

A mi madre y hermano, por ser las personas que más amo y apoyarme en momentos de dificultad.

Agradecimiento

A mi madre, por su amor, trabajo y sacrificio a lo largo de mi vida, asimismo por ser el principal motivo de mis sueños y objetivos.

A mis hermanos(as) por siempre estar presentes con sus consejos y apoyarme en mis decisiones.

A mi asesora Msc Ing. Carmen Luz Ventura Barrera, por su buena disposición, tiempo y apoyo durante el desarrollo de la tesis.

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, la cual me abrió sus puertas para formarme profesionalmente como Ingeniero Ambiental.

A los profesores y maestros que me enseñaron en mi etapa universitaria, ya que no solo nos daban conocimientos científicos, sino también de vida.

A mis amigos de la Universidad Nacional Federico Villarreal, por los buenos momentos vividos en estos 5 años.

Índice General

Índice General.....	4
Índice de tablas	11
Índice de Figuras.....	13
Resumen.....	15
Abstract.....	16
I. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Descripción y Formulación del Problema	19
1.1.1. Problema principal.....	22
1.1.2. Problemas específicos.....	23
1.2. Antecedentes.....	23
1.2.1. Antecedentes Nacionales	23
1.2.2. Antecedentes Internacionales.....	27
1.3. Objetivos.....	30
1.3.1. Objetivo General.....	30
1.3.2. Objetivos Específicos.....	31
1.4. Justificación.....	31
1.5. Hipótesis	33
1.5.1. Hipótesis general.....	33
II. MARCO TEÓRICO.....	34

2.1.	Bases teóricas	34
2.1.1.	Descripción y localización de la unidad minera Nivel Quinto	34
2.1.1.1.	Descripción.	34
2.1.1.2.	Localización.	34
2.1.2.	Drenaje ácido de mina (DAM)	36
2.1.2.1.	Etapas en el desarrollo del DAM.	36
2.1.2.2.	Reacciones Químicas en el DAM.	37
2.1.2.3.	Efectos negativos del DAM.	40
2.1.3.	Metales Pesados	41
2.1.3.1.	Arsénico.	42
2.1.3.2.	Cadmio.	44
2.1.4.	Aceituna (<i>Olea europaea</i>)	45
2.1.5.	Endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) como material bioadsorbente	47
2.1.5.1.	Celulosa.....	49
2.1.5.2.	Hemicelulosa.....	49
2.1.5.3.	Lignina.	50
2.1.6.	Bioadsorción	50
2.1.7.	Mecanismo de Bioadsorción.....	52
2.1.7.1.	Adsorción física o fisisorción.	53
2.1.7.2.	Quimisorción o adsorción activa.	53

2.1.7.3. Intercambio iónico.	54
2.1.8. Principales factores que afectan al proceso de bioadsorción	54
2.1.8.1. Composición fisicoquímica del bioadsorbente.	54
2.1.8.2. Composición fisicoquímica del adsorbato.	55
2.1.8.3. Concentración del bioadsorbente y del adsorbato.	55
2.1.8.4. Influencia del pH.....	55
2.1.8.5. Presencia de otros iones, metales, co-iones.	56
2.1.8.6. Sitios de unión del bioadsorbente.	56
2.1.8.7. Pretratamiento del bioadsorbente.....	56
2.1.8.8. Sistema de contacto.....	57
2.1.8.9. Selectividad.....	57
2.1.8.10. Tamaño de partícula.....	58
2.1.9. Equilibrio de adsorción	58
2.1.10. Capacidad de adsorción	58
2.1.11. Porcentaje de adsorción	59
2.1.12. Tipos de isoterma de adsorción.....	60
2.1.12.1. Modelo de Langmuir.....	62
2.1.12.2. Modelo de Freundlich.....	65
2.2. Definiciones Generales.....	66
2.3. Normativa Ambiental	68

2.3.1. Ley General del Ambiente N° 28611	68
2.3.2. Límites Máximos Permisibles (LMP).....	69
III. MÉTODO	70
3.1. Tipo de Investigación	70
3.2. Ámbito Temporal y Espacial.....	71
3.3. Variables	73
3.4. Población y Muestra	75
3.5. Instrumentos	76
3.5.1. Instrumentos para la recopilación de información.....	76
3.5.2. Materiales para recolección de muestra.....	76
3.5.3. Materiales de laboratorio	77
3.5.4. Equipos de laboratorio	77
3.5.5. Reactivos e insumos.....	78
3.5.6. Materiales de escritorio.....	78
3.5.7. Equipos de escritorio.....	78
3.6. Procedimientos	78
3.6.1. Recopilación de Información.....	80
3.6.2. Recolección de muestra de drenaje ácido de mina	80
3.6.3. Recolección de aceituna (Olea europaea).....	81
3.6.4. Lavado y secado de materiales de laboratorio	82

3.6.5. Acondicionamiento del endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>).....	82
3.6.6. Pruebas experimentales.....	83
3.6.7. Análisis de muestras tratadas	85
3.7. Análisis de Datos	86
3.7.1. Análisis estadístico.....	86
3.7.2. Desarrollo de equilibrio de adsorción	86
3.7.3. Determinación de la eficacia o porcentaje de remoción	87
3.7.4. Comparación con los límites máximos permisibles.....	87
IV. RESULTADOS.....	88
4.1. Análisis estadístico para el cadmio	89
4.1.1. Prueba de Normalidad.....	90
4.1.2. Prueba Estadística: ANOVA.....	92
4.1.3. Prueba de Tukey	93
4.2. Análisis estadístico para el arsénico	98
4.2.1. Prueba de Normalidad.....	98
4.2.2. Prueba Estadística: ANOVA.....	100
4.2.3. Prueba de Tukey	101
4.3. Resumen del análisis estadístico	106
4.4. Contrastación de la Hipótesis.....	107
4.5. Determinación de las Isotermas de bioadsorción para el cadmio	108

4.5.1. Isoterma de Langmuir	108
4.5.2. Isoterma de Freundlich	110
4.5.3. Comparación de las isothermas	112
4.6. Determinación de las Isothermas de bioadsorción para el arsénico	114
4.6.1. Isoterma de Langmuir	114
4.6.2. Isoterma de Freundlich	116
4.6.3. Comparación de las isothermas	118
4.7. Determinación de la eficacia de remoción.....	121
4.7.1. Cadmio.....	121
4.7.2. Arsénico	124
4.8. Comparación con los límites máximos permisibles.....	126
4.8.1. Cadmio.....	126
4.8.2. Arsénico	128
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	130
VI. CONCLUSIONES	135
VII. RECOMENDACIONES	138
VIII. REFERENCIAS	139
IX. ANEXOS (de ser necesario)	150
9.1. Anexo A: Matriz de Consistencia.....	150
9.2. Anexo B: Mapa de Ubicación de la Unidad Minera Nivel Quinto.....	151

9.3. Anexo C: Formato de ubicación y características del punto de monitoreo	152
9.4. Anexo D: Formato de anotación y observación en la experimentación	153
9.5. Anexo E: Cadena de custodia	154
9.6. Anexo F: Reporte de resultados de los análisis	156
9.7. Anexo G: Panel fotográfico	171
9.8. Anexo H: Presupuesto del desarrollo de la tesis.....	176

Índice de tablas

Tabla 1 Coordenadas de la Unidad Minera Nivel Quinto.....	35
Tabla 2 Coordenadas del Centro Poblado Algamarca.	35
Tabla 3 Propiedades Fisicoquímicas del Arsénico.	43
Tabla 4 Propiedades Fisicoquímicas del Cadmio.	44
Tabla 5 Composición del Endocarpio de Aceituna (<i>Olea europaea</i>).	48
Tabla 6 Análisis Elemental del Endocarpio de Aceituna (<i>Olea europaea</i>).	48
Tabla 7 Límites Máximos Permisibles para Descargas de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.	69
Tabla 8 Coordenadas de Ubicación de la Unidad Minera Nivel Quinto.	72
Tabla 9 Operacionalización de Variables.	74
Tabla 10 Diseño Experimental de la Investigación.	84
Tabla 11 Método de Ensayo para el Análisis de Metales Disueltos.	85
Tabla 12 Caracterización del drenaje ácido de mina.	88
Tabla 13 Resultados de las concentraciones de cadmio (II) y arsénico (V) después del tratamiento de bioadsorción.	89
Tabla 14 Promedio de las concentraciones de cadmio (II) y arsénico (V).	90
Tabla 15 Valor de p en la prueba de normalidad para el cadmio.	91
Tabla 16 Información del factor y niveles en el tratamiento del cadmio.....	92
Tabla 17 Análisis de varianza (ANOVA) en el tratamiento del Cadmio.	93
Tabla 18 Medias de las concentraciones de cadmio (II).	94
Tabla 19 Procedimiento para comparar las medias de las concentraciones de cadmio.	95

Tabla 20 Comparaciones en parejas de Tukey para las medias de las concentraciones de Cadmio.	96
Tabla 21 Valor de p en la prueba de normalidad para el arsénico.	99
Tabla 22 Información del factor y niveles en el tratamiento del arsénico.	100
Tabla 23 Análisis de varianza (ANOVA) para el tratamiento de Arsénico.	101
Tabla 24 Medias de las concentraciones de arsénico (V).	102
Tabla 25 Procedimiento para comparar las medias de las concentraciones de arsénico.	103
Tabla 26 Comparaciones en parejas de Tukey para las medias de las concentraciones de Arsénico.	104
Tabla 27 Resumen del análisis estadístico.	106
Tabla 28 Contrastación de la Hipótesis.	107
Tabla 29 Parámetros para graficar la isoterma de Langmuir para el Cadmio.	109
Tabla 30 Parámetros para graficar la isoterma de Freundlich para el Cadmio.	111
Tabla 31 Comparación de las isotermas para el Cadmio.	113
Tabla 32 Parámetros para graficar la isoterma de Langmuir para el Arsénico.	115
Tabla 33 Parámetros para graficar la isoterma de Freundlich para el Arsénico.	117
Tabla 34 Comparación de las isotermas para el Arsénico.	118
Tabla 35 Concentraciones de iones cadmio adheridas a las dosis de endocarpio.	121
Tabla 36 Parámetros para graficar el porcentaje de eficacia de remoción del Cadmio.	123
Tabla 37 Concentraciones de iones arsénico adheridas a las dosis de endocarpio.	124
Tabla 38 Parámetros para graficar el porcentaje de eficacia de remoción del Arsénico.	125
Tabla 39 Concentraciones de Cadmio obtenidas para cada dosis de endocarpio.	127
Tabla 40 Concentraciones de Arsénico obtenidas para cada dosis de endocarpio.	128

Índice de Figuras

Figura 1 Proceso de Bioacumulación y Magnificación.	42
Figura 2 Estructura Interna de la Aceituna (<i>Olea europaea</i>).....	46
Figura 3 Vista Microscópica del Esqueleto del Endocarpio de Aceituna (<i>Olea europaea</i>).	47
Figura 4 Etapas del Proceso de Bioadsorción.	51
Figura 5 Tipos de Isotermas de Adsorción.	61
Figura 6 Mapa de Ubicación de la Unidad Minera Nivel Quinto.....	73
Figura 7 Diagrama del Procedimiento de la Investigación.	79
Figura 8 Aplicación del Método o Prueba de Jarras.	85
Figura 9 Gráfica de la prueba de normalidad para el Cadmio.	91
Figura 10 Comparaciones en parejas de Tukey mediante intervalos de confianza (ICs) para las medias de las concentraciones de Cadmio.	97
Figura 11 Gráfica de la prueba de normalidad para el Arsénico.	99
Figura 12 Comparaciones en parejas de Tukey mediante intervalos de confianza (ICs) para las medias de las concentraciones de Arsénico.	105
Figura 13 Isoterma de Langmuir para el Cadmio.	110
Figura 14 Isoterma de Freundlich para el Cadmio.....	112
Figura 15 Isoterma de Langmuir para el Arsénico.	116
Figura 16 Isoterma de Freundlich para el Arsénico.....	117
Figura 17 Dosis de endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) que generó mayor eficacia en la bioadsorción de cadmio (II).....	122
Figura 18 Porcentaje de eficacia de remoción para el Cadmio.....	123

Figura 19 Dosis de endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) que generó mayor eficacia en la bioadsorción de arsénico (V).	124
Figura 20 Porcentaje de eficacia de remoción para el Arsénico.	126
Figura 21 Comparación con el límite máximo permisible para las concentraciones de Cadmio.	127
Figura 22 Comparación con el límite máximo permisible para las concentraciones de Arsénico.	129

Resumen

La presente investigación tiene el propósito de determinar el efecto del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) en la bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto. Para ello se experimentó con 3 réplicas a temperatura ambiente en un sistema discontinuo por el método de jarras con 200 RPM de velocidad de agitación, tiempo de agitación de 90 minutos y tiempo de sedimentación, de 60 minutos con muestras de 500 mL de DAM, adicionalmente, se empleó endocarpio en partículas de 250 μm de diámetro (tamiz N° 60) aplicado en diferentes dosis de 4, 6, 8 y 10 g. Obteniendo como resultado un pH de la muestra de 5.01 y concentraciones iniciales de 4.73 mg/L para arsénico (V) y 1.70 mg/L para cadmio (II). Sin embargo después del tratamiento se obtuvo una adsorción de cadmio (II) de 0.690 mg/L, reduciendo su concentración a 1.013 mg/L generando una eficacia del 40.53%, así mismo, se adsorbió una cantidad de arsénico (V) de 3.721 mg/L reduciendo su concentración a 1.005 mg/L generando una eficacia del 78.73%; donde la dosis que generó mayor eficacia en la bioadsorción de ambos metales fue de 10 g; además, la isoterma que mejor representó la bioadsorción de los iones cadmio y arsénico fue la Freundlich y Langmuir respectivamente. Concluyendo que el endocarpio si reduce la concentración de cadmio (II) y arsénico (V), sin embargo, no tiene un alto potencial de adsorción, ya que las concentraciones obtenidas no cumplen los límites máximos permisibles.

Palabras claves: cadmio, arsénico, endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), dosis, bioadsorción, isoterma.

Abstract

The purpose of this investigation is to determine the effect of the olive endocarp (*Olea europaea*) on the bioadsorption of cadmium (II) and arsenic (V) from the acid drainage of the Fifth Level mining unit. For this, 3 replicates were experimented at room temperature in a batch system using the jar method with a stirring speed of 200 RPM, stirring time of 90 minutes and sedimentation time of 60 minutes, with samples of 500 mL of DAM. Additionally, endocarp was used in particles of 250 μm in diameter (No. 60 sieve) applied in different doses of 4, 6, 8 and 10 g. Obtaining as a result a sample pH of 5.01 and initial concentrations of 4.73 mg/L for arsenic (V) y 1.70 mg/L for cadmium (II). However, after the treatment, a cadmium (II) adsorption of 0.690 mg/L was obtained, reducing its concentration to 1.013 mg/L, generating an effectiveness of 40.53%, likewise, an amount of arsenic (V) of 3.721 mg/L was adsorbed reducing its concentration to 1,005 mg/L generating an effectiveness of 78.73%; where the dose that generated the greatest effectiveness in the bioadsorption of both metals was 10; furthermore, the isotherm that best represented the bioadsorption of cadmium and arsenic ions was the Freundlich and Langmuir respectively. Concluding that the endocarp does reduce the concentration of cadmium (II) and arsenic (V), however it does not have a high adsorption potential, since the concentrations obtained do not meet the maximum permissible limits.

Keywords: cadmium, arsenic, olive endocarp (*Olea europaea*), dose, bioadsorption, isotherm.

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades mineras en nuestro país, especialmente la minería informal, amenazan el ambiente o entorno, así como también, la salud de la población rural debido a la presencia de drenajes ácidos de mina, exponiendo a que las personas consuman el agua sin un tratamiento correcto y cerca del 8% de decesos ocurre a causas asociadas a estas aguas contaminadas. Los metales contenidos en el drenaje ácido pueden acumularse y redistribuirse en el medio natural, permaneciendo en el ambiente por cientos de años y así introduciéndose en la cadena alimenticia, alcanzando niveles tóxicos para los seres vivos generando daños al bienestar humano y animal, alterando el crecimiento y la absorción de nutrientes en todos los organismos, afectando el sistema inmunológico y los órganos. Asimismo, las plantas irrigadas con agua que contienen metales pueden contaminarse o absorber metales del suelo. Adicionalmente, se incluyó el arsénico y el cadmio presentes en los drenajes mineros, entre los 10 elementos que contaminan más y generan mayor preocupación para la salud pública, según la OMS. (Nayhua, 2016)

Por este motivo, surge la necesidad de proponer nuevas tecnologías respetuosas con el ambiente que puedan tratar el cadmio (II) y arsénico (V) que están en los drenajes de mina, por ello en la presente tesis se aplicara el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) reducidos en partículas de 250 μm de diámetro, como bioadsorbente natural para el tratamiento de los metales mencionados con el propósito de reducir su concentración. Por consiguiente, se identificará el modelo isotérmico que mejor represente el proceso de bioadsorción, y se estimará la dosis que genere mayor eficacia en la bioadsorción de estos iones metálicos, a fin de obtener un insumo natural reaprovechable poco invasiva para el ambiente. Por otro lado, el desarrollo de la presente tesis se divide en nueve capítulos los cuales contienen toda la información necesaria para su comprensión, tal como se indica a continuación:

En la primera sección se detalla el problema y su descripción tanto a nivel mundial, nacional y local, también se describe la formulación del problema; además, se presentan 11 estudios (antecedentes internacionales y nacionales) con teorías y temáticas semejantes a la presente investigación, asimismo, en este capítulo también se presenta los objetivos generales y específicos, la justificación, la importancia y las hipótesis de la tesis.

En la segunda sección se desarrolla el marco conceptual o teórico sobre el tema de investigación, presentando las bases y definiciones teóricas que sustentarán el trabajo de investigación como por ejemplo el proceso de generación del drenaje minero, características de los elementos metálicos (arsénico y cadmio), endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), bioadsorción y equilibrio de adsorción.

En la tercera sección se describe la metodología, en la cual explicamos los procedimientos, los instrumentos, las variables, la muestra, la población, el ámbito espacial y temporal, el tipo de investigación y por ultimo los análisis de datos obtenidos.

En la cuarta sección se explican los resultados conseguidos después de realizar la experimentación, identificando de esta manera el modelo isotérmico que mejor que represento la bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V), así mismo, se estimó la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que generó mayor eficacia en la bioadsorción de los iones metálicos.

En la quinta sección se presenta la discusión de resultados, en donde estos se comparan con los obtenidos de otras investigaciones de igual temática de investigación (antecedentes internacionales y nacionales).

En la sexta sección se desarrollan las conclusiones obtenidas a partir de la discusión y resultados generados de la experimentación respecto a la bioadsorción de iones metálicos de cadmio y arsénico.

En la séptima sección se establecen las recomendaciones y sugerencias para las próximas investigaciones relacionadas con la misma temática.

En la octava sección se indican las referencias bibliográficas que se trataron en el presente estudio de tesis.

En la novena sección se muestran los anexos que incluye el mapa de localización de la Unidad Minera Nivel Quinto, la matriz de consistencia, el formato de ubicación y características de punto de monitoreo, el formato de anotación y observación en la experimentación, la cadena de custodia, los reportes de resultados de los análisis, panel fotográfico y el presupuesto de la investigación.

1.1. Descripción y Formulación del Problema

Hoy en día la mayoría de los países ejercen una presión sobre los recursos hídricos debido al aumento de las personas, y se espera para el 2030 un déficit de agua del 40% (Banco Mundial, 2022). Así pues, el mal estado de la calidad del agua elimina un tercio del crecimiento económico (BM, 2019), ya sea a través del aumento de los costos de salud, la reducción de la productividad laboral, el incremento de los costos para las empresas o la reducción de los rendimientos agrícolas, de modo que más del 80% de las aguas residuales del mundo y más del 95% de países que aún se están desarrollando siguen vertiendo sus aguas sin poder tratarlas al medio ambiente (Damania et al., 2019), por lo que los países más pobres sufren de manera directa un ambiente cada vez más contaminado y degradado (BM, s.f.).

Adicionalmente, actividades como la minería han generado residuos que han provocado contaminación en aguas, afectándolos de manera fija si dichos residuos son derramados constantemente dañándolos hasta tal punto que las aguas sean incapaces de recuperarse (Martín, 2008). Además, en la Conferencia Internacional de Drenaje Ácido de Mina, se informó que se han localizado aproximadamente 100.000 lugares mineros que tienen problemas de drenaje ácido y están en abandono (Zevallos, 2016). Asimismo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos estableció cinco metales pesados como los más importantes en cuanto a su impacto a la salud, entre ellos están el cadmio y arsénico (Fairbrother et al., 2007). Mientras que para la OMS existen 10 contaminantes metálicos de elevada preocupación para la salud de la población, y entre ellos se encuentran el cadmio y el arsénico (Nayhua, 2016).

Por otro lado, Perú se ubica entre los 20 países con más cantidad de agua en el mundo con 72 510 m³/ habitante/año, y un volumen anual promedio de 2 046 287 m³ de agua (Ministerio del Ambiente, 2011); y también en América latina es el tercer país de América latina, después de Brasil y Colombia, en contener mayor volumen de agua dulce (OCDE, 2021). Sin embargo, el Banco Mundial realizó un estudio del Perú en el 2019, obteniendo que cerca del 50% de aguas presentes del país no obedecen las normativas ambientales, ni los estándares ni los límites máximos permisibles, ya sea para conservar los medios acuáticos, para regar los cultivos o para que las personas puedan consumir el agua, descargándose a los ríos y aguas naturales un aproximado de 538 millones de m³ de aguas poder tratarlas; de manera que, por la contaminación de aguas y los efectos perjudiciales que trae a la salud de las personas, el Perú pierde dinero del PBI aproximadamente dos tercios en poder subsanar estos daños (MINAM, 2016).

Además, en explotación y exploración minera, el Perú destaca en el ámbito tanto internacional como nacional (Garagorri y Vela, 2022). No obstante, la actividad minera de tipo

informal genera drenajes ácidos de mina poniendo en peligro la salud de las personas o comunidades rurales y también pone en peligro al ambiente, arriesgando a que las personas consuman el agua sin un tratamiento bueno y cerca del 8% de decesos ocurre a causas asociadas a estas aguas contaminadas, a la higiene, a la sanidad, a la incorrecta disponibilidad y accesibilidad al agua (MINAM, 2016). Así pues la minería genera drenajes ácidos con presencia de metales disueltos que se acumulan y se redistribuyen en el medio natural permaneciendo en el entorno durante centenares de años, y a la vez se introducen en la cadena alimenticia generando mucho daño a las personas y animales complicando el bienestar de estos, debido a que los metales alcanzan elevados niveles tóxicos (Martín, 2008); comprometiendo el crecimiento y la absorción de nutrientes en todo ser vivo, afectando el sistema inmunológico y los órganos, generando con el tiempo cáncer. Del mismo modo las plantas se contaminan absorbiendo metales de aguas con presencia de estos, por otro lado, los suelos también resultan afectados por la acumulación de metales (Garagorri y Vela, 2022).

Por otra parte, la explotación minera en la región de Cajamarca ha sido una actividad que se ha desarrollado en el transcurso del tiempo, debido a ello, el drenaje ácido de mina provocado tanto por las mineras que laboran actualmente, así como también por las mineras abandonadas, sigue siendo el principal responsable de la contaminación de aguas superficiales y aguas subterráneas (Gallardo y Acuña, 2020). Por tal motivo desde el 2006 hasta el 2022, el ministerio de energía y minas ha estado constantemente modificando y agregando información de los pasivos ambientales mineros; entre ellos están los drenajes ácidos de mina (DAM) y a nivel de Cajamarca se observado que en los últimos tiempos ha aumentado la cantidad de DAM, siendo la segunda región a nivel nacional en tener estos drenajes ácidos de mina, después de Áncash (Sánchez et al., 2015). De acuerdo con la última actualización existen 6903 DAM en el Perú, en Cajamarca existen

1015 DAM y en Cajabamba 13, de los cuales todos se ubican en Algamarca (Ministerio de Energía y Minas, 2022). Además, en la actualidad la unidad minera Nivel Quinto se encuentra ejecutando labores de explotación para extraer metales, generando a la vez drenaje ácido el cual no es sometido a ningún tipo de tratamiento, incumpliendo las normativas ambientales peruanas y causando la contaminación del río Algamarca, el mismo que hace su recorrido por el Valle Condebamba provocando malestar en la población y daño al ambiente (Gallardo y Acuña, 2020).

Actualmente los métodos más comunes para eliminar iones metálicos presentes en aguas residuales son: coagulación, filtración, precipitación química, separación por membrana, electrólisis y extracción con disolventes, estos pueden resultar costosos, dados los elevados precios de requerimientos de energía y operación para los equipos (Díaz et al., 2019) y a la vez también pueden generar lodos, que son difíciles de tratar (Martín, 2008).

Por tal motivo, existe la necesidad de proponer nuevas tecnologías que sean amigables con el ambiente que puedan tratar el cadmio (II) y arsénico (V) que están en los drenajes de mina, así pues, en el presente trabajo de investigación se aplicara el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) preparado en polvo como bioadsorbente natural para remediar el drenaje de mina del centro poblado de Algamarca con la intención de reducir la concentración de cadmio (II) y arsénico (V), obteniendo de esta manera el mejor modelo de isoterma que represente el proceso de bioadsorción, así mismo, se estimará la dosis que genere mayor eficacia en la bioadsorción de estos iones metálicos, a fin de tener un insumo natural reaprovechable poco invasiva para el ambiente.

1.1.1. Problema principal

¿Cómo se determina el efecto del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) en la bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto - Algamarca?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que genera mayor eficacia en la bioadsorción de cadmio (II)?.
- ¿Cuál será la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que genera mayor eficacia en la bioadsorción de arsénico (V)?.
- ¿Cuál es el modelo de isoterma que mejor representa la bioadsorción de cadmio (II)?.
- ¿Cuál es el modelo de isoterma que mejor representa la bioadsorción de arsénico (V)?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Nacionales

Palomares (2021), en su trabajo de investigación llamado “**Cinética y equilibrio de adsorción de Mn y Cu utilizando endocarpio de aceituna para el tratamiento de aguas ácidas de la unidad minera Yauricocha**”, tuvo como objetivo resolver el equilibrio y la cinética de bioadsorción del manganeso divalente y cobre divalente aplicando carbón activado de la pepa de aceituna para tratar los fluentes de la Unidad Minera Yauricocha. Para ello se realizó cada prueba experimental con muestras de 200 mL de drenaje de mina, variando el pH en 3 y 5, también se aplicó varios tipos de cantidad de adsorbente de 0.5, 1, 1.5, y 2 g; se empleó 100 RPM de velocidad de agitación, con 120, 90, 60 y 30 min de tiempo de contacto y el N° de malla fue de 60 (0.250 mm de diámetro). Los mejores resultados en porcentaje para la adsorción de Mn (II) fue de 99,14 % con un pH de 3 y 89,44 % cuando se trabajó con un pH de 5, así también el porcentaje de bioadsorción cobre divalente fue del 61.20% a pH 3 y a pH 5 fue de 73,08 %, tanto el uno para el otro, la cantidad de adsorbente que se empleo fue de 1 gramo de y 90 min de tiempo de contacto. Así mismo, con respecto al equilibrio de adsorción se resolvió que el modelo que represento de una manera correcta los datos fue la de Freundlich tanto para el cobre y manganeso divalente con

correlaciones de $R^2=0,9618$ y $R^2=0,9709$ respectivamente. Finalmente llegó a la conclusión que, para tiempos de 30, 60, 90 y 120 minutos el tipo de cinética que represento de manera correcta la adsorción de cobre y manganeso divalente fue la de primer orden; del mismo modo para cantidades de 2, 1.5, 1 y 0.5 gramos de endocarpio, el modelo que represento de manera correcta la adsorción de cobre y manganeso divalente fue la de Freundlich.

Ordoño y Mendoza (2020), expreso en su trabajo de tesis titulado **“Remoción de cobre Cu (II) y arsénico As (v) de aguas residuales de mina, por adsorción con zeolita natural en proceso batch”**, sostuvo como propósito analizar la capacidad de bioadsorción de la zeolita en un sistema de lecho discontinuo batch, para el tratamiento de aguas o efluentes de minas con presencia de iones de cobre y arsénico. Para ello la zeolita se separó en partículas con diámetro de 0.25 mm con malla N° 60. En las soluciones acuosas con presencia de arsénico pentavalente con una concentración de 0,326 mg/L y con presencia de cadmio divalente con una concentración de 0,380 mg/L, se analizó la cantidad adecuada de adsorbente aplicando varios pesos de adsorbente (0.25, 0.5, 1, 1.2, 1.5, 2, 2.5, 3 g), el pH se varió en diversos valores (3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.2, 6.5, 7), el tiempo de agitación también se varió en diversos valores (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 minutos), así también, 120 RPM fue la velocidad de agitación y cada evaluación se realizó 100 mL de muestra. Teniendo como resultados, que el pH adecuado para la adsorción del cobre fue de 5.5 y el pH adecuado para la adsorción del arsénico fue de 6.2, asimismo, el tiempo adecuado para la adsorción del cobre fue de 30 min y el tiempo adecuado para la adsorción del arsénico fue de 70 min, por último, 2 gramos de zeolita fue la cantidad adecuada para lograr buenos resultados en la adsorción de cobre divalente y arsénico pentavalente. Por lo tanto, los autores lograron remociones del 52.78% para el arsénico pentavalente y 99.36% para el cobre divalente. El modelo de isoterma de Langmuir fue la que dio una excelente representación en la adsorción de los iones para ambos

metales. Finalmente concluyeron que se logró cumplir con los límites máximos permisibles y la normativa presentes en las aguas residuales mineras, en especial para adsorción de cobre y arsénico

Vena et al. (2019), en su estudio titulado **“Bioadsorción del metal Cadmio⁺² para el tratamiento de efluentes ácidos de mina a través del alginato de sodio”**, tuvo como **objetivo** el tratamiento de los iones cadmio divalentes en drenajes mineros para cumplir con los límites establecidos por la normativa. Para ello se monitorearon los efluentes mineros obteniendo 10 ppm para Cd (II). Se obtuvieron partículas del biosorbente alginato de sodio de 2 mm de diámetro. La biosorción de Cd (II) se llevó a cabo empleando el diseño de ensayo 2k en 11 pruebas para un sistema batch utilizando 1 litro de efluente; donde la T° (20 °C) y velocidad de agitación se emplearon en las mismas condiciones o fueron constantes, se aplicó diversos tiempos dentro de un intervalo de 60 y 120 minutos, después de la agitación se filtró la muestra. Obteniendo como resultado una remoción del 91.88 % de Cd (II) para 2 g/l de dosis óptima, además el tiempo para la agitación óptima fue de 120 min y 5 de pH; obteniendo también 0.0735 mg/g de capacidad de bioadsorción en monocapa del alginato de sodio. Finalmente concluyeron que se pudo remover cadmio (II), siendo la bioadsorción eficiente en la remoción de drenajes ácidos de mina con cadmio.

Obregón (2012), en su trabajo de investigación **“Estudio comparativo de la capacidad de bioadsorción de Cd utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna”**, tuvo como **objetivo** comparar la capacidad de bioadsorción de la semilla de aguaje preparado en forma de carbón con respecto a los iones Cd. Para ello se emplearon carbones preparados de origen de aceituna (AC) y de semilla de aguaje (AG), además, el ácido fosfórico se empleó como agente activante, luego fueron separados por una malla N° 60 (0.25 mm de diámetro); se utilizaron 0.015 g de adsorbentes en 20 ml de muestra a temperatura ambiente.

En los resultados se observó que la capacidad de bioadsorción del cadmio sube considerablemente cuando el pH de la disolución se incrementa de dos a cinco, para AG aumenta la capacidad de 8.14 a 12.32 mg/g; mientras para AC aumenta la capacidad de 9.01 a 12.48 mg/g, además, la ecuación de pseudo 2° orden representa de manera correcta la bioadsorción de cadmio y el modelo de Langmuir representa mejor la adsorción de cadmio. Finalmente llegó a la conclusión que los carbones activados de semilla de aceituna son las que mayor adsorben el cadmio.

Romero (2017), en su trabajo de investigación titulada **“La pepa de aceituna y la biosorción en efluentes mineros con alta concentración de plomo y zinc en la U.E.A, Heraldos Negros -Acobambilla - Huancavelica 2017”**, tuvo como objetivo analizar cómo influye la pepa en la adsorción de efluentes de mina con elevada cantidad de iones Pb y Zn. Para ello se tomaron muestras de efluentes mineros obteniendo concentraciones de 0,436 g/L de Plomo y 7,48 g/L de Zinc, estando por encima de límite establecido en el D.S.010- 2010 MINAN. El proceso se realizó aplicando el endocarpio o hueso de aceituna triturada y separadas con una malla de N° 60, se aplicó 100 RPM de velocidad de agitación en un sistema batch; a temperatura ambiente con pH de la solución de 7.81, se empleó 5 y 10 gramos de endocarpio de aceituna por cada 2 L de efluente minero de muestra a 60 y 90 min de tiempos de agitación, el tiempo de reposo de la muestra tratada fue de 60 minutos. Obteniendo como resultado porcentajes de adsorción del 96,1% para el plomo y 87,6% para el zinc con 60 min de tiempo adecuado y peso óptimo de 10 g. Finalmente llegó a la conclusión de que para la adsorción de los metales Pb y Zn presentes en efluentes mineros, el endocarpio de aceituna si es eficiente.

Aguirre (2017), sostuvo por medio de su investigación titulada **“Adsorción de metales (plomo y arsénico) mediante carbón activado a partir de semillas de eucalipto (Eucalyptus globulus)”**, su propósito fue adsorber metales pesados (plomo y arsénico) del lago Titicaca,

aplicando como bioadsorbente semillas de eucalipto, pero modificados en carbón activado. Para ello se recolectó la semilla de eucalipto separando las partículas con una malla N° 80; para los datos resultantes de la experimentación se empleó el método estadístico paramétrico ANOVA. Los experimentos de bioadsorción se ejecutaron a temperatura ambiente de 15 °C, empleando 500 ml de muestra a pH 5, donde se aplicó 2 gramos de semilla de eucalipto modificados en forma de carbón en un tiempo de agitación de 2 horas y 300 RPM de velocidad. Obteniendo como resultado que el intercambio iónico y la fuerza electrostática fue la que prevaleció en el proceso de bioadsorción, adsorbiendo Pb y As del lago Titicaca en porcentajes del 99.8% y del 70,3% respectivamente. El modelo de pseudo segundo orden fue el que mejor representó la cinética del proceso de bioadsorción. Finalmente llegó a la conclusión que las semillas de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) de acuerdo con sus propiedades de textura son adecuadas para generar carbón activado en la bioadsorción de plomo y arsénico.

1.2.2. Antecedentes Internacionales

Sanchez (2018), argumento en el estudio titulado “**Adsorción de arsénico y antimonio en soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa lignocelulósica de cáscara de cacao**”, que tuvo como objetivo determinar la capacidad de bioadsorción del Sb y As en disoluciones acuosas por medio de la aplicación de la cáscara de cacao. Para ello la cascara de cacao fue recolectado, lavado con agua destilada, troceado, molido, posterior secado y triturado hasta 250 µm (micras), seleccionados con una malla N° 60, donde se recolectó 0.1875 g de cascara de cacao para el experimento. Luego se realizó los ensayos a distintos pHs (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8,10), en 25 ml de solución con 50 ppm de concentración, a tiempo de agitación de 24 horas con velocidad de agitación de 200 RPM, además, los ensayos se realizaron por triplicado. Obteniendo como resultado que el mejor porcentaje de adsorción para el arsénico fue de 30.96 % a pH de 5 y para el

antimonio fue de 45.15% a pH de 8. La isoterma Langmuir fue la que mejor represento la adsorción para ambos metales; con respecto al Sb se obtuvo 169.88 mg/g de q_{max} (capacidad máx. de bioadsorción) y con un valor de $R^2 = 0,97503$ de correlación, con respecto al As se alcanzó como resultado 65.16 mg/g de q_{max} y un valor de $R^2 = 0,90082$ de correlación. Finalmente llegó a la conclusión de que la cascara de cacao adsorbe medianamente y no es tan buena en la bioadsorción del antimonio y arsénico.

Calero et al. (2010), en su investigación que lleva por título **“Efecto de diferentes tratamientos químicos en las características sorbentes de residuos derivados de la industria olivarera”**, tuvo como objetivo investigar sobre la bioadsorción del Pb (II) a través de un sistema batch por medio de los residuos que se generan de la aceituna, y a la vez describir estos residuos para aplicarlos como bioadsorbentes de metales aplicando varios tratamientos previos. Para ello se han utilizado como materiales adsorbentes al ramón del olivo, hueso y alperujo de aceituna, por ejemplo, para el hueso de aceituna fue triturado por un molino de martillo y se tamizo para partículas de diámetros menores a 1mm, para el experimento se utilizó 10 g/l. También se utilizó 50 ml de volumen de la muestra a pH de 3, 4, 5 y 6, los ensayos se aplicaron con 120 min de tiempo de agitación y 700 RPM de velocidad de agitación a una temperatura ambiente (25 °C). Se utilizaron reactivos para modificar los adsorbentes como la sal de plomo, modificadores de pH (Na(OH) a 0.1 N y HCl). Obteniendo como resultado que el proceso de bioadsorción del Pb aumenta debido a que se aplica el hidróxido de sodio en el ramón y hueso del olivo, esto a la vez genera también un incremento de los grupos activos presente en los residuos del olivo. De esta manera en una concentración de Pb originaria de 80 mg/L y empleando el hueso, la bioadsorción aumento del hueso sin tratar (3.54 mg/g) a 7.32 mg/g para el hueso aplicando hidróxido de sodio o tratado. Finalmente llegaron a la conclusión de que los residuos de aceituna, en especial el hueso,

son efectivos para el tratamiento de metales, la efectividad aumenta si se agrega un agente activante como el hidróxido de sodio.

Fiol et al. (2006), en su estudio titulado “**Sorción de plomo (II), níquel (II), cobre (II) y cadmio (II) de disolución acuosa por residuos de hueso de aceituna**”, tuvo como propósito estimar los beneficios de los residuos de hueso de aceituna como material bioadsorbente para la remoción de los iones metálicos en la solución. Para ello se enjuagaron los huesos con agua fría y se pusieron a secar en una estufa a 105 °C, se molieron y tamizaron para granos de 0.75 y 1.5 mm. Los experimentos se llevaron a cabo a temperatura ambiente (20°C) con una masa fija de 0.2 g de hueso de aceituna, con solución metálica de 15 ml a 30 RPM de agitación, el pH se varió de 1.5 a 7.5, con 60 min de tiempo de agitación. Consiguiendo como resultados, que la máxima sorción de los metales ocurre con un pH de 5,5 a 6,0; alcanzando porcentajes de remoción del 85%. El modelo de Langmuir representa mejor la bioadsorción de los metales. Finalmente llegaron a la conclusión de que los residuos de hueso de aceituna, que tienen un valor económico muy bajo, pueden ser utilizados para poder realizar el tratamiento de drenajes con presencia de metales.

Espinosa et al. (2020), en su artículo titulado “**Adsorción del Pb^{+2} y Cd^{+2} en disolución acuosa con hueso de nanche (*Byrsonima crassifolia*)**”, tuvo como objetivo hallar la cantidad que puede adsorber el hueso de nanche, de cadmio (II) y plomo (V) que se encuentran en disoluciones. Para ello se recolectó hueso de nanche lavándolo con HCl y luego con agua destilada para eliminar impurezas, secándolo a 60°C; se molió el hueso hasta obtener partículas menores y se separó con malla N° 14 del sistema USA Standard ASTM. La experimentación se realizó a temperatura ambiente (25 °C) con tres repeticiones a un tiempo de agitación de 120 min, utilizando 1 gramo de hueso de nanche. Se prepararon disoluciones a 50 ml en diferentes concentraciones (10, 30, 50 y 100 mg/L). Las disoluciones que contienen Cd se llevaron a un pH de 8 y 7; y las que tuvieron Pb

se las llevo aun pH de 3,4 y 5. Obteniendo como resultado que el ácido carboxílico y el fenol son los grupos funcionales que posee el hueso, además, con el aumento de pH, la capacidad para adsorber cadmio (II) y plomo (V) del hueso se elevó, donde llego a remover 82% de plomo (V) a pH 5 y 84% de cadmio (II) a pH 8. Así mismo, la isoterma de Langmuir representa de la mejor manera los datos de bioadsorción de Pb y Cd divalentes. Finalmente llegaron a la conclusión de que los sitios funcionales y el pH influyen en la eliminación tanto de los iones cadmio como de los iones plomo divalentes.

Carrillo y González (2015), en su estudio de artículo titulado **“Biosorción de zinc, cadmio y plomo con cascarillas de *Jatropha curcas*”**, tuvo como objetivo estimar en sistemas controlados la cinética, la capacidad de bioadsorción y la desorción del cadmio, plomo y zinc por medio de la cascarilla de *J. curcas*. Para ello se prepararon soluciones de 20 ml de los metales mencionados a pH 6.4. Se secó 0.5 g de cascarilla de *J. curcas* en horno de aire forzado, se trituro y luego las partículas fueron separadas por un tamiz N° 60 (250 μm), y se le dio un tiempo de agitación de 120 minutos, se ejecutó 3 repeticiones del experimento. Obteniendo como resultado remociones del 78% para Cd, 95% para el Pb y 85% para el Zn, obteniendo 700 mg/g como capacidad de bioadsorción de los metales. Así también, la isoterma de Freundlich represento de manera indicada los datos para la bioadsorción del Cd, Pb y Zn, con R^2 de 0.659, 0.859 y 0.958 respectivamente. Los autores concluyeron que las cascarillas de *J. curcas* son eficientes para adsorber el Cd, Pb y Zn, ya que se obtuvieron buenos porcentajes de remoción.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el efecto del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) en la bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto – Algamarca.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Estimar la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que genera mayor eficacia en la bioadsorción de cadmio (II).
- Estimar la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que genera mayor eficacia en la bioadsorción de arsénico (V).
- Identificar el modelo de isoterma que mejor representa la bioadsorción del cadmio (II).
- Identificar el modelo de isoterma que mejor representa la bioadsorción de arsénico (V).

1.4. **Justificación**

El proceso de bioadsorción utiliza biomasa o residuos que se encuentra en la naturaleza, caracterizándose por ser inertes e inmunes a sustancias tóxicas y escenarios externos, asimismo, el fenómeno de bioadsorción puede ser controlado y optimizado debido a que el residuo orgánico se presenta de manera metabólicamente inerte. Adicionalmente, este proceso tiene bajo costo de operación debido al escaso consumo de energía y de reactivos, tiene buena eficacia en la remoción de metales ya que en las paredes o superficie del residuo orgánico se intercambian los grupos funcionales por los iones metálicos, no genera tanta cantidad de lodos químicos, así mismo, también se cuenta con la oportunidad de recobrar los metales mediante un proceso llamado desorción, y así se puede regenerar la biomasa inerte para un nuevo proceso de bioadsorción (Trujillo, 2015). Con respecto a las isotermas de adsorción, estas expresan un equilibrio o proporción entre la concentración adsorbida por el material adsorbente (endocarpio) y la concentración de metal en el drenaje, y a la vez indican el mecanismo por el cual el arsénico y cadmio se unen a la superficie del material bioadsorbente (Ordoño y Mendoza, 2020).

En cuanto al endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), es una materia prima que se puede encontrar en grandes cantidades en la naturales debido a su bajo costo, posee una estructura porosa

de material lignocelulósico (celulosa, hemicelulosa, lignina y ceniza), las cuales poseen grupos funcionales como los carboxilos, hidroxilos, amino, amido, polisacáridos, alcoholes, esterres, etc., estos grupos enlazan iones metálicos disueltos por medio de diferentes mecanismos como la adsorción física, quimisorción, etc., sustituyendo un ion hidronio por un ion de arsénico o de cadmio que se encuentran en el drenaje minero. También hay que destacar que el endocarpio tiene una buena afinidad por la adsorción de iones cadmio y arsénico (Romero, 2017).

Actualmente actividades como la minería informal generan drenajes ácidos con presencia de cadmio y arsénico, éstos permanecen en el entorno durante centenares de años, acumulándose y redistribuyéndose, generando daños a la salud de las personas con graves problemas, ya que estos metales se presentan en la cadena alimenticia; afectando también la flora y fauna. Por otra parte, los métodos convencionales para eliminar iones metálicos que se encuentran en los drenajes mineros como la precipitación química, filtración, coagulación, etc., pueden resultar costosos, dados los elevados precios de requerimientos de energía y operación para los equipos; generando a la vez lodos difíciles de tratar.

Es por ello que en la presente tesis se pretende brindar una opción para alcanzar el tratamiento de los drenajes ácidos de mina contaminada con cadmio y arsénico, mediante el uso del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), presentando características favorables para la bioadsorción de estos metales, siendo a la vez un insumo natural reaprovechable poco invasiva para el ambiente, a bajo costo de operación, de fácil manejo e implementación y que sea capaz de restablecer la calidad de las aguas ácidas reduciendo la concentración de cadmio y arsénico con el propósito de que cumplan los Límites Máximos permisibles (LMP) presentes en la legislación peruana, antes de su vertimiento al ambiente, evitando de esta manera impactos en la población, flora y fauna. Considerando también que en la actualidad muchos de los tratamientos

convencionales generan lodos químicos, se pretende minimizar la generación de estos residuos y por el contrario reutilizar residuos orgánicos como la aceituna (*Olea europaea*); y de esta manera optar por un bioadsorbente que sea capaz sustituir o complementar los tratamientos químicos.

Importancia

La presente investigación tiene como importancia emplear a gran escala la aplicación del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), reutilizando y dándole un mejor uso a los residuos que se generan de las aceitunas (*Olea europaea*), y en consecuencia disminuyendo su acumulación en zonas no aptas para su disposición.

Así también, el presente estudio servirá de sustento y guía a las instituciones privadas y públicas necesiten de un bioadsorbente orgánico que no genere residuos secundarios como los lodos, que sea capaz de remover el cadmio y arsénico del drenaje ácido minero; también va dirigida a los gobiernos municipales, ya que con el agua tratada se pueda reemplazar los grandes volúmenes de agua potable que utilizan para el riego de sus áreas verdes; de igual forma también es importante para investigaciones que traten el mismo tema a futuro.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) como bioadsorbente, reduce la concentración de cadmio (II) y arsénico (V) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto – Algamarca.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Descripción y localización de la unidad minera Nivel Quinto

2.1.1.1. Descripción. Las labores mineras en el Nivel Quinto se realizan hace muchos años atrás, vertiendo sus efluentes mineros directamente al ambiente y río del centro poblado Algamarca sin ningún tratamiento previo. En efecto Baca (2020), describe que las labores mineras en el centro poblado de Algamarca tuvo sus inicios hace más de 90 años con la explotación del yacimiento mineral por la familia Achorones, después fueron transferidos a la familia Velesmoro. En 1940 el señor Miguel Orbegoso Tudela funda la empresa Minera Algamarca S.A. continuando la explotación del mineral en vetas subverticales, aperturando galerías (niveles), subniveles y nuevos frentes de trabajo hasta 1991. En el 2005, las personas con conocimientos básicos en minería comenzaron a extraer mineral de las labores anteriormente abandonadas, iniciándose la minería artesanal en el Centro Poblado de Algamarca. Actualmente existe 114 mineros artesanales formando la Asociación de Mineros Artesanales San Blas de Algamarca (AMASBA). Así pues, el método de explotación del yacimiento mineral es el subterráneo (socavón), usando técnicas de circado, corte y relleno, de esta forma los mineros prosiguen con la explotación del yacimiento. En consecuencia, debido a los años de explotación mineral se ha evidenciado filtraciones de drenaje ácido de mina que salen a superficie, discurriendo sin tratamiento a los ríos del centro poblado.

2.1.1.2. Localización. El lugar de estudio donde se recolectará las muestras para su posterior análisis se encuentra en la unidad minera llamada Nivel Quinto, ubicada en el centro poblado de Algamarca del distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y región de Cajamarca.

Además, esta unidad minera se encuentra ubicada dentro de la carta nacional de nombre Cajabamba con código 16-g, zona 17, cuadrícula M y hemisferio sur. En la tabla 1 presentaremos las coordenadas de la unidad minera llamada Nivel Quinto.

Tabla 1

Coordenadas de la Unidad Minera Nivel Quinto.

	Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM (metros)	Zona, Hemisferio	Altitud
Unidad minera Nivel Quinto	Latitud (Sur): 7° 36' 33.21"	X (este): 802773	17 S	2691 msnm
	Longitud (Oeste): 78° 15' 21.83"	Y (Norte): 9157942		

Nota. Coordenadas geográficas, coordenadas UTM, zona, hemisferio y altitud de la unidad minera llamada Nivel Quinto.

Así mismo en la tabla 2 presentaremos las coordenadas centro poblado Algamarca.

Tabla 2

Coordenadas del Centro Poblado Algamarca.

	Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM (metros)	Zona, Hemisferio	Altitud
Centro Poblado Algamarca	Latitud (Sur): 7° 36' 29.81"	X (este): 803906.48	17 S	3003 msnm
	Longitud (Oeste): 78° 14' 44.9"	Y (Norte): 9158039.29		

Nota. Coordenadas geográficas, coordenadas UTM, zona, hemisferio y altitud del centro poblado Algamarca.

2.1.2. Drenaje ácido de mina (DAM)

Se obtiene de la lixiviación y oxidación de minerales sulfurados que contienen metales, además, es un fenómeno que sucede naturalmente, el drenaje de mina se origina cuando dichos minerales se predisponen al agua y aire, es por ello por lo que el drenaje depende del tiempo presentando oxidación química y biológica. Se distingue porque el pH que tiene es menos de 7, llegando a valores de 1.5, es decir, el drenaje disminuye su alcalinidad, volviéndose cada vez más ácido, además presenta grandes cantidades de iones metálicos, sólidos y sulfatos. Además, cuando existen minerales o rocas que consumen ácidos junto a los drenajes ácidos, neutralizan dicho drenaje, obteniendo que el drenaje puede estar a un pH de 7, es decir la acidez que presenta es mínima pese a que se sigue dando la oxidación de minerales sulfurados. Con el pasar de los años las rocas que neutralizan el drenaje ácido se van terminando o desgastando, ello produce un aumento de acidez. Se debe recordar que la acidez depende de la cantidad, exposición, tipo de rocas sulfuradas y alcalinas, a su vez también es dependiente de la oxidación biológica y química, del agua, de la temperatura, de la cantidad de oxígeno y del pH presentes en el medio (MINEM, 2009).

Como podemos observar el drenaje puede ser alcalino o ácido, todo ello dependerá de las condiciones del medio, también de la predisposición de diversos factores como la cantidad de rocas que neutralizan la acidez, el oxígeno, el pH, la temperatura del medio etc.

2.1.2.1. Etapas en el desarrollo del DAM. De acuerdo con el MINEM (2009) existen tres etapas en el desarrollo del DAM, los cuales se detallan a continuación:

Etapa I: El drenaje en esta etapa es aproximadamente neutro, debido a que hay suficiente alcalinidad para neutralizar la acidez y formar hidróxidos a partir de la precipitación de los metales, a pesar de que exista oxidación de minerales sulfurosos. Asimismo, el oxidante principal es el

oxígeno; además, las rocas carbonatadas CaCO_3 (calcita) bajan el ácido presente en el agua que sale de las rocas, generando un ambiente neutro en el agua con pH mayores a 7

Etapa II: Conforme se sigue presentando el drenaje ácido y se van consumiendo los minerales carbonatados, se van presentando las reacciones de oxidación tanto biológicas como químicas y además el pH del agua se reduce hasta 4.5. Se aprecia alta acidez, a pesar de que la concentración de los metales está muy por debajo.

Etapa III: En esta etapa se van desgastan las rocas alcalinas produciéndose un aumento de acidez de manera rápida, y el medio ya no esta tan alcalino, se incrementa la velocidad de oxidación siendo mayor que las otras etapas, el pH del agua de drenaje se vuelve ácido identificándose los iones metálicos disueltos en altas concentraciones, así como también sulfatos. Las reacciones se transforman de oxidación química a oxidación biológica. Así pues, para pasar de una etapa a otra puede transcurrir muchos días o incluso años, esto va a depender de los factores que estén presentes en el medio de agua ácida. Como se puede observar existen 3 etapas en el desarrollo o proceso del drenaje, iniciándose cuando el medio del agua es básico o alcalino, pero a medida que las rocas alcalinas se van consumiendo, el medio del agua se torna ácido con mucha presencia de iones metálicos, además para pasar de una etapa a otra ocurre en varios años.

2.1.2.2. Reacciones Químicas en el DAM. Para que en un medio acuático se genere la acidez debe estar presente estos 2 principales componentes: un oxidante, que en este caso sería el oxígeno de la atmosfera o agua; y los minerales sulfurosos, los más importantes son los minerales sulfurosos de hierro, como la pirita o marcasita (FeS_2) y la pirrotina.

Asimismo, la acidez es magnificada y aumenta su rapidez por factores como por ejemplo la T° , pH y bacterias (*Thiobacillus ferrooxidans*), las velocidades de reacción se duplican por cada

10°C de incremento de temperatura, además, es de tipo exotérmico la oxidación del sulfuro, aumentando la T° en el ambiente de reacción (MINEM, 2009).

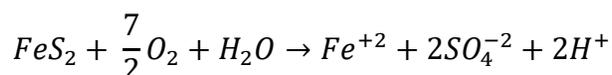
En esta parte se explica que para que se genere el drenaje, especialmente la acidez depende de agente oxidante como el agua o la atmosfera, a su vez depende de las rocas sulfurosas como la pirita, otros agentes también intervienen como pH, temperatura y bacterias que aceleran la generación de ácido.

El MINEM (2009) menciona 2 tipos de reacciones químicas presentes en el DAM: oxidación y neutralización, los cuales se detallan a continuación:

Oxidación: Inicialmente los sulfuros como la pirita hacen reacción con el agua y el O₂, obteniendo iones hidronio (H⁺), hierro ferroso (Fe²⁺) y sulfato SO₄²⁻, siendo una reacción veloz para pH con 4.5 de valor, y se indica en la ecuación 1:

Ecuación 1

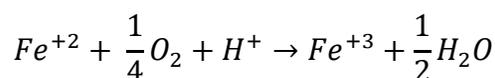
Oxidación de la Pirita.



Posteriormente, se produce hierro férrico de la reacción del oxígeno con el hierro ferroso. Esta reacción se convierte en la etapa controlante del proceso total de oxidación, tal como se muestra en la ecuación 2

Ecuación 2

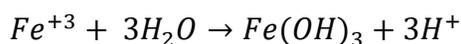
Oxidación del Hierro Ferroso.



El hierro férrico se precipita como hidróxido, dejando libres los iones de hidrógeno, esta oxidación ocurre cuando el pH se ubica por más de 3.5 (Ecuación 3), el hidróxido férrico precipitado tiene color rojizo característico de las minas que generan ácido.

Ecuación 3

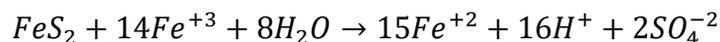
Precipitación del Hierro Férrico.



El hierro férrico inicia la oxidación química del mineral pirita actuando como agente oxidante (Ecuación 4). Para valores de pH menores a 4.5, la oxidación o proceso que impera o domina es la oxidación del hierro férrico.

Ecuación 4

Oxidación de la Pirita por el Hierro Férrico.



Asimismo, conviene especificar que las bacterias Thiobacillus ferrooxidans, Thiobacillus thiooxidans y Sulfolobus oxidan el hierro ferroso en férrico. Por lo tanto, la oxidación continua, el aumento de T°, y el aumento de H⁺ crean las condiciones para el desarrollo de las bacterias mencionadas.

Neutralización: Para que se pueda dar la reacción de neutralización, se debe presentar minerales como carbonatos (calcita), hidróxidos (limonita), arcillas, etc. Que sean capas de consumir acidez con el fin de neutralizar el drenaje ácido. Así pues, de los depósitos de minerales carbonatados, la calcita es el de mayor proporción y común que disminuye ácido por medio de la generación de bicarbonato (HCO₃) y ácido carbónico (H₂CO₃). Asimismo, para que una roca se defina si aportara condiciones ácidas o básicas en el agua, estas dependerán de cuanto será la

abundancia de los minerales sulfurosos presentes en ella, es decir de las que generan ácido. Por otro lado, el hierro y la acidez del agua se remueve mediante la reacción de neutralización, esta eleva el pH del medio.

2.1.2.3. Efectos negativos del DAM. Garagorri y Vela (2022), mencionan que las consecuencias en humanos, plantas y suelos a causa del contacto directo o indirecto con drenajes ácidos de mina que contenga metales son las siguientes:

Plantas y suelos: Las plantas pueden ser afectadas cuando se les irrigan con agua provenientes de drenajes ácidos de mina o las que son cultivadas con suelos contaminados con drenajes ácidos de mina, debido a su capacidad de absorción; afectando de manera perjudicial su desarrollo, disminuyendo los nutrientes que pueda adquirir debido al deterioro de sus raíces. Cuando los suelos presentan drenajes ácidos mediante irrigación o flujo subterráneo, los metales son acumulados en sus estratos al perder solubilidad, deteriorando el material construido o concreto con el pasar de los años.

En otras palabras, el drenaje afecta de manera perjudicial tanto sea la flora como a los suelos, por eso es importante que las plantas y suelos estén libres de estos drenajes para evitar complicaciones a futuro y evitar daños en el ambiente.

Seres humanos: Los humanos pueden tener contacto con altas concentraciones de iones metálicos provenientes de los drenajes mineros mediante cuerpos de agua, peces y plantas contaminadas, de manera que, las personas se contaminan en su mayoría indirectamente. Por lo tanto, la mayoría de los metales al perder solubilidad y no disolverse, estos se van depositando, comprometiendo el desarrollo de las personas, la captación de nutrientes, complicando de esta manera la vida y produciendo con el tiempo cáncer. Por otro lado, al beber agua contaminado con

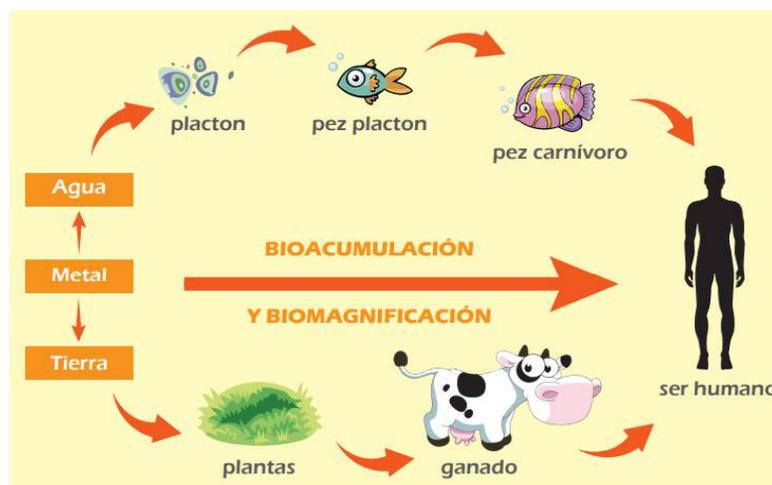
drenaje de mina, provoca irritación en ojos y también en la dermis, el daño causado dependerá de cuanto es el nivel de acidez presente en el drenaje consumido. De esta manera podemos observar que el drenaje es muy perjudicial para los humanos, ya sea por contacto tanto directo como indirecto, es por ello por lo que debemos evitar el contacto o consumo, asimismo, reducir el drenaje presente en lugares donde existen minas, ya sea remediándolos o tratándolos.

2.1.3. Metales Pesados

Son elementos químicos que poseen densidades altas a más de 5 gr/cm^3 , clasificándose en no indispensables (Cd, Sb, Hg, Cr, As, Pb), cuando no logran una función vital de importancia en humanos y en esenciales (Mo, Co, V, Cu, Mn, Fe, Zn), cuando tienen alguna función vital de importancia en humanos (Gutiérrez, 2015). Por ejemplo, algunos de los problemas relacionados con metales pesados en humanos se deben a la bioacumulación y la biomagnificación como se puede observar en la figura 1. Así pues, la bioacumulación es el incremento con respecto al tiempo de la cantidad de metales presentes en el organismo, y la biomagnificación es cuando en el principio de la cadena alimentaria los metales se presentan en bajas concentraciones y estos obtienen altas concentraciones a medida que se va ascendiendo en la cadena trófica (MINAM, 2016).

Figura 1

Proceso de Bioacumulación y Magnificación.



Nota. Como se puede observar siguiendo la jerarquía de la cadena alimentaria, analizamos que la acumulación de metales se va dando desde la menor a la mayor jerarquía, estos metales llegan a las personas por medio del agua o tierra. Adaptado de *Aprende a prevenir los efectos del mercurio. Módulo 1: Salud y ambiente* (p.13), por MINAM, 2016, Ministerio del Ambiente.

2.1.3.1. Arsénico. Según Ordoño y Mendoza (2020), la ubicación del arsénico en la tabla periódica se encuentra localizado en el grupo 5-A, y debido a esto se le atribuye características tanto de no metal como de metal, formando aniones y cationes, es decir, se enlazan con gran parte de no metales y metales mediante fuerzas covalentes. Por otro lado, en la litosfera se encuentra localizado el arsénico con 1.5 y 2 ppm de concentración, formando arseniuros, sulfuros, sulfosales y silicatos; pero en su gran mayoría se encuentra en forma de pirita, galena, calcopirita.

En otras palabras, el arsénico pueda tomar propiedades tanto como metales y como no metales, dependiendo de la aplicación y experimentación, con respecto a esta investigación se trabajara con iones pentavalentes de arsénico presentes en el drenaje de mina, que inicialmente se encontraban en el mineral pirita.

Tabla 3*Propiedades Fisicoquímicas del Arsénico.*

Nombre	Arsénico
Símbolo	As
Número atómico	33
Valencia	+3, +5
Estado de oxidación	-3, +3, +5
Configuración electrónica	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³
Masa atómica (g/mol)	74.9216
Densidad (kg/m³)	5780 (gris), 4700 (amarilla)
Punto de ebullición (°C)	613 (sublima)
Punto de fusión (°C)	817 (a 28 atm)

Nota. Tomado de *Remoción de cobre Cu (II) y arsénico As (V) de aguas residuales de mina, por adsorción con zeolita natural en proceso batch* (p. 47), por Ordoño y Mendoza, 2020, Universidad Nacional del Altiplano.

Por otro lado, el arsénico en su forma iónica (+5) o pentavalente, se las puede localizar en aguas superficiales aeróbicas; mientras que en su forma iónica (+3) o trivalente es común localizarlas en aguas profundas, siendo este último tipo de arsénico más toxico. Adicionalmente, para lograr una mejor eficacia en el proceso de bioadsorción, el arsénico tiene que encontrarse ionizado de forma positiva y en soluciones de 4 a 10 de pH (Ordoño y Mendoza, 2020). Teniendo en cuenta a Aguirre (2017), menciona que cuando el pH de las soluciones se encuentra en 4 y 5, se genera la máxima remoción del arsénico pentavalente y trivalente, a causa de que van disminuyendo los iones hidrógenos en la solución.

Efectos nocivos en la salud humana

El arsénico es muy tóxico en su forma inorgánica y también es soluble, generando en la salud humana repercusiones como cánceres, problemas cardiovasculares, enfermedades renales, daños cutáneos, problemas gastrointestinales, abortos involuntarios y diabetes (Cayetano, 2019).

2.1.3.2. Cadmio. Tiene como estado de oxidación el +2, es uno de los metales pesados más tóxicos, de color blanco azulado, y no se encuentra en grandes cantidades (Gutiérrez, 2015). De acuerdo con Sandoval (2019), afirma que el cadmio no es elemental para los seres vivos, por el contrario, se encuentra presente como sulfuro de cadmio contaminando los alimentos y agua. Asimismo, Rosique (2013) menciona que el cadmio es un metal tóxico que contamina el ambiente, por su permanencia y bioacumulación en el entorno generando efectos adversos para el hombre, además, recorre los cursos de agua y se desplaza por el aire.

Por otro lado, Sandoval (2019), menciona las siguientes propiedades fisicoquímicas del cadmio, tal como se presenta en la tabla 4:

Tabla 4

Propiedades Fisicoquímicas del Cadmio.

Nombre	Cadmio
Símbolo	Cd
Peso atómico	48
Masa atómica	112.441
Estado de oxidación	+2, -2
Configuración electrónica	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³
Densidad	74.9216
Punto de ebullición	767 °C
Punto de fusión	320.9 °C

Nota. Tomado de *Eficiencia de la lenteja de agua Lemna minor l. y del jacinto de agua Eichhornia crassipes y en la remoción de cadmio en aguas residuales* (p. 32), por Sandoval, 2019, Universidad Nacional Federico Villarreal.

Efectos nocivos en la salud humana

Las personas estamos en exposición mediante 2 vías a los contaminantes derivados del cadmio: la primera es a través de la inhalación de partículas de cadmio y la otra vía es la oral por medio del agua e ingreso de comida infectadas con cadmio, de esta manera el metal es llevado por la sangre hasta llegar al hígado para luego ir y acumularse en los riñones (Salazar, 2017). De modo similar la Organización Mundial de la Salud asevera que el cadmio se instala en el cuerpo de las personas entre 10 a 35 años, y se ubica principalmente en los riñones (OMS, 2018). Adicional a ello Salazar (2017), afirma que el cadmio afecta el corazón produciendo arterosclerosis aórtica; afecta al pulmón produciendo bronquitis con daño progresivo alveolar. También, mediante la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, se distingue al Cd como un elemento que genera cáncer, asimismo, la Agencia de Protección Ambiental también lo clasifica de la misma manera, lo que se concluye que el cadmio es cancerígeno para los seres humanos.

2.1.4. Aceituna (*Olea europaea*)

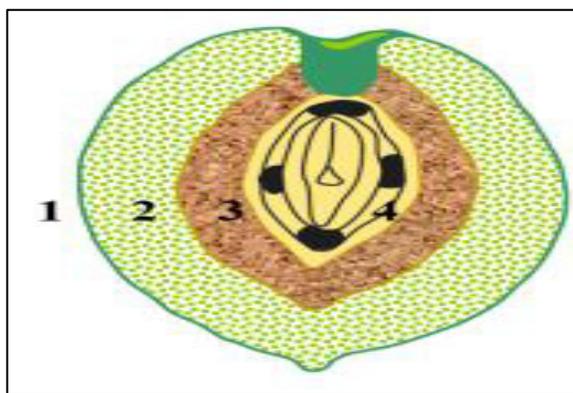
La aceituna (*Olea europaea*) proviene del fruto del olivo, cuyo árbol tiene una elevación de 15 metros, además se identifica como *Olea europaea*, siendo su nombre científico (Palomares, 2021). Asimismo, Estrada (2014), señala que la aceituna (*Olea europaea*) tiene variaciones de color como el de tipo verde, morado y rojo, además, afirma que tiene una estructura de elipsoide y que su longitud puede variar de 2 a 1 cm, y el diámetro tiene una variación de 1 a 0.6 cm.

De acuerdo con Saleh (2014), menciona que la aceituna (*Olea europaea*) se puede dividir estructuralmente en cuatro regiones:

1. Piel: también llamada epicarpio, es la parte superficial, más delgada y externa del fruto, constituido por la epidermis con su cutícula, representando entre el 1,0 y el 3,0% del peso total de la aceituna (*Olea europaea*).
2. La pulpa: llamada también mesocarpio, es la parte comestible que supone un 70 y un 80% del peso total de la aceituna (*Olea europaea*), siendo la mayor parte de la aceituna (*Olea europaea*) y donde se acumula el aceite.
3. El endocarpio: llamado también hueso, es la cápsula lignocelulósica que contiene celulosa, hemicelulosa y lignina cuya función es preservar la semilla, representa entre el 18 y 22% del peso de la aceituna (*Olea europaea*).
4. La semilla: representa entre el 2,2 y el 5,5% del peso total del fruto.

Figura 2

Estructura Interna de la Aceituna (Olea europaea).



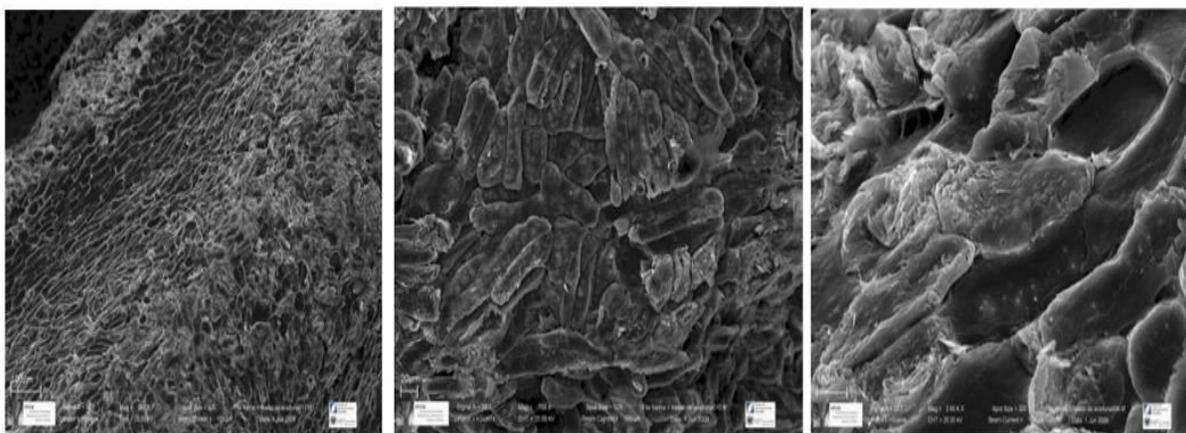
Nota. En la figura se muestra las 4 partes internas de la aceituna donde la parte 1 es la piel, la parte 2 es la pulpa o mesocarpio, la parte 3 es el endocarpio y la parte 4 es la semilla. Adaptado de *Tratamiento a presión e hidrólisis del hueso de aceituna, fermentación de hidrolizados con Pachysolen tannophilus* (p.33), por Saleh, 2014. Universidad de Jaén.

2.1.5. Endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) como material bioadsorbente

De acuerdo con Romero (2017), actualmente los endocarpios de aceituna (*Olea europaea*) son restos leñosos separados sin darles un apropiado manejo, presentando problemas para su disposición final. Sin embargo, es un material potencial en carbono que contiene una estructura de material lignocelulósico, además, gracias a su bajo costo en materia prima y disponibilidad, se las puede encontrar ampliamente en el entorno. También menciona que, en vista microscópica, el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) posee porosidad con espacios abiertos entre ellas, tal como lo podemos observar en la figura 3.

Figura 3

*Vista Microscópica del Esqueleto del Endocarpio de Aceituna (*Olea europaea*).*



Nota. En la figura se muestra la vista de diferentes ángulos de la superficie tridimensional del endocarpio de aceituna. Adaptado de *Aprovechamiento de hueso de aceituna, biosorción de iones metálicos* (p.133), por Saloua, 2010, Universidad de Granada.

Adicionalmente, Romero (2017) menciona que el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) está compuesto en porcentaje de ceniza, celulosa, hemicelulosa y lignina, tal como se indica en la tabla 5.

Tabla 5

Composición del Endocarpio de Aceituna (Olea europaea).

Parámetro	Porcentaje (%)
Cenizas	0.8
Celulosa	36.9
Hemicelulosa	34.8
Lignina	32.1

Nota. Tomado de *La pepa de aceituna y la biosorción en efluentes mineros con alta concentración de plomo y zinc en la U.E.A, Heraldos Negros - Acobambilla - Huancavelica 2017* (p. 20), por Romero, 2017, Universidad Cesar Vallejo.

En efecto la gran cantidad de lignina que posee el endocarpio explica la dureza que tiene y la importante fuente de polifenoles que posee (Cuevas et al., s.f.). Así también, Tenorio (2006) menciona que el endocarpio presenta en su mayor parte carbono y oxígeno, tal como lo podemos observar en la tabla 6.

Tabla 6

Análisis Elemental del Endocarpio de Aceituna (Olea europaea).

Elementos	Análisis (% peso)
Carbono	50.79
Hidrógeno	5.95
Nitrógeno	0.48
Azufre	0.04
Oxígeno	42.74

Nota. Tomado de *Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna* (p. 55), por Tenorio, 2006, Universidad de Granada.

De lo anterior se sabe que la pared celular del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) está formada por celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales poseen grupos funcionales como los carboxilos, hidroxilos, amino, amido, polisacáridos, alcoholes, esterres, etc., éstos enlazan iones metálicos disueltos por diferentes mecanismos como la adsorción física, quimisorción, etc., sustituyendo un ion de metal por un ion hidronio que se encuentra en la solución (Tejada et al., 2015). Por esta razón se pueden aprovechar en la descontaminación de drenajes o efluentes de mina disminuyendo la concentración de iones metálicos a través del proceso llamado bioadsorción, siendo una opción para sustituir a otros procesos más elevados económicamente y dificultosos.

Por su parte Saloua (2010), define las características más relevantes de la celulosa y hemicelulosa:

2.1.5.1. Celulosa. La celulosa está estructurado linealmente y formado por enlaces puente de hidrógenos entre sus cadenas que contienen a las moléculas de hidroxilos, estas características le hacen impenetrables y resistentes al agua, asimismo, en un polisacárido compuesto por cadenas (uniones) glucosídicos β (14). La celulosa es una sustancia de naturaleza orgánica que se presenta con mayor cantidad en reino vegetal y a la vez tiene como característica fundamental constituir las paredes de las células de las plantas.

2.1.5.2. Hemicelulosa. Es un heteropolisacárido abundante en las plantas en el mundo y en el reino vegetal, principalmente en plantas que poseen lignina. La hemicelulosa son de tipo hexosas y pentosas, unidos por conexiones acetálicos o glucosídicos clasificándose en β y α ; presentando grupos carbonilos e hidroxilos en la cadena base, debido a estos grupos, experimentan reacciones de oxidación, reducción, nitración, etc.

Adicionalmente Romero (2017), define las características más relevantes de la lignina:

2.1.5.3. Lignina. La lignina procede del latín lignun que significa madera; las plantas que contienen un alto contenido de lignina en su interior se les conocen como leñosas. Teniendo como característica ser un adhesivo natural ayudando al traslado de agua hacia la parte superior de la planta. También tiene la característica de unir iones metálicos por fuerzas iónicas o covalentes, esto porque existen grupos funcionales como carboxílicos, aldehídos, alcoholes, fenoles, etc.

2.1.6. Bioadsorción

De acuerdo con Trujillo (2015), define la adsorción como aquel fenómeno fisicoquímico en donde los iones de una solución se adhieren a la superficie de otra, mientras que el termino bio hace referencia a la aplicación de materiales biológicos, por lo que el concepto de bioadsorción lo define como un procedimiento lento de retención de iones metálicos por los lugares activos que se encuentran en la superficie del residuo orgánico o biomasa de manera natural, aun así cuando se emplea biomasa inerte, conviene especificar que debido a que esta biomasa se encuentra inactiva, se puede tener el control y lograr óptimos resultados en la retenciones de iones metálicos, además, es invulnerable a las condiciones del entorno y a los compuestos tóxicos.

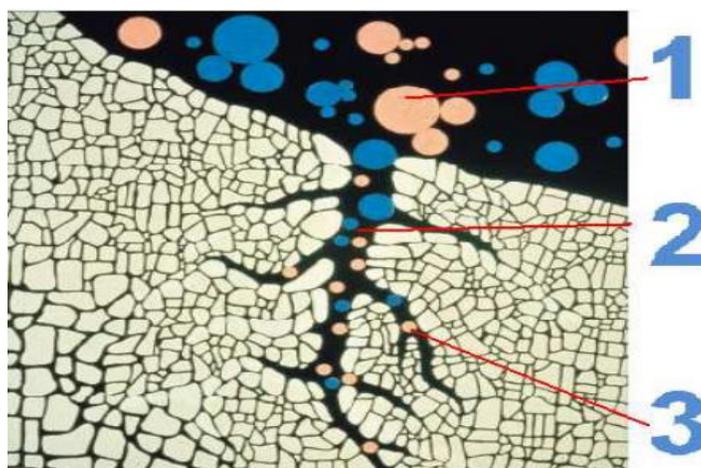
El fenómeno de la bioadsorción está constituido de dos fases, la primera fase es la solución que posee los iones metálicos o disueltos llamado adsorbatos, y la segunda fase es la sólida llamada bioadsorbente. Para que la bioadsorción se realice con éxito deberá existir una alta atracción de los iones del adsorbato por los sitios activos o grupos funcionales presentes en la superficie del bioadsorbente, dichos iones se unen al sólido por diversas fuerzas tanto físicas como químicas (Tejada et al., 2015).

Adicionalmente Obregón (2012), afirma que el proceso de bioadsorción se genera en 3 etapas o niveles continuos y se presenta en la parte interfacial, como se indica en la Figura 4.

1. **Primer nivel (difusión externa)**, en esta etapa los iones metálicos se encuentran cerca del bioadsorbente venciendo las fuerzas de oposición que hay en la fina capa del entorno del bioadsorbente.
2. **Segundo nivel (difusión interna)**, los iones metálicos avanzan por medio de las estructuras porosas del bioadsorbente.
3. **Tercer nivel**, en esta etapa ocurre el proceso de bioadsorción ya que los iones metálicos se van fijando o uniendo a la superficie del bioadsorbente.

Figura 4

Etapas del Proceso de Bioadsorción.



Nota. En la figura se muestra las tres etapas o niveles en las cuales el adsorbato se va integrando al bioadsorbente. Adaptado de *Aprovechamiento de hueso de aceituna, biosorción de iones metálicos* (p.4), por Obregón, 2012, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cabe mencionar que este fenómeno puede incluir diversos procesos o mecanismos relacionados entre ellos mismo, tales como, el intercambio iónico, quimisorción y fisorción (Obregón, 2012).

Las ventajas de la bioadsorción son las siguientes: bajo costo que tiene el proceso debido al escaso consumo energético y de reactivos, alta eficacia a bajas concentraciones de metal, no se obtiene elevadas cantidades de residuos o lodos, ya sea químicos o biológicos, posibilidad de recuperación de metal mediante un proceso llamado desorción, emplea restos orgánicos producto de las industrias o la biomasa que se puede hallar en grandes cantidades en el ambiente y posibilidad de tratar varios metales pesados a la vez (Trujillo, 2015).

Mientras que para Saloua (2010), las ventajas de utilizar biomasa inerte es que no necesita de nutrientes para algún tipo de crecimiento ya que es biomasa muerta, obteniendo buena eficacia en la remoción de metales debido al intercambio de iones, así mismo esta biomasa se puede regenerar para seguir removiendo metales. Mientras que el inconveniente de usar biomasa inerte es su rápida saturación y la sensibilidad al pH que presenta la bioadsorción cuando se da la retención de los metales.

A partir de esto, se determina que, para la retención o remoción de iones metálicos en drenajes ácidos de mina, la bioadsorción puede considerarse el mejor método alternativo, ya que no utiliza organismos vivos como material bioadsorbente debido a que pueden verse perjudicados por las elevadas concentraciones de los metales mencionados. De esta manera al utilizar residuos inertes, se puede impedir la rápida degradación de la biomasa o bioadsorbente e incluso se pueden ajustar algunos parámetros para mejorar la eficacia de la bioadsorción. (Tejada et al., 2015).

2.1.7. Mecanismo de Bioadsorción

De acuerdo con Tenorio (2006), en el interior de un sólido o residuo orgánico todos sus iones y moléculas están acompañados por otras moléculas y iones, compensando las fuerzas de atracción presente por todos los lugares.

Por el contrario, aquellos iones que se encuentran en la parte externa del bioadsorbente poseen ligeramente compensado sus fuerzas de atracción pudiendo adherirse otros iones metálicos a las paredes externas del sólido, dándose el proceso de la bioadsorción. Por consecuencia pueden darse más de un mecanismo de bioadsorción los cuales se describirán a continuación.

2.1.7.1. Adsorción física o fisisorción. De acuerdo con Tenorio (2006), la adsorción física también es llamada fisisorción, y lo describe como un proceso causado fundamentalmente por enlaces electrostáticos y de Van der Waals, estos enlaces ocurren entre los iones presentes en la capa exterior del bioadsorbente y los iones metálicos presentes en la solución. Este procedimiento va a depender de la T° , la concentración de los iones metálicos y la cantidad del bioadsorbente, y a su vez puede llegar a ser un proceso presuroso o ser pausado. De acuerdo con Saloua (2010) la adsorción física casi siempre sucede a temperaturas medias o del ambiente, a su vez también se distingue por tener débiles fuerzas de bioadsorción, generando que los iones metálicos estén adheridos levemente a la superficie del bioadsorbente. Asimismo, Saloua (2010) define a los enlaces de Van der Waals como aquellas fuerzas que no alteran las propiedades químicas de los adsorbatos o iones metálicos, ya que estas fuerzas no son tan fuertes o intensas como para modificar sus estructuras.

2.1.7.2. Quimisorción o adsorción activa. Saloua (2010), afirma que la quimisorción es llamada también adsorción activa, y lo describe como un proceso en el que la especie adsorbida sufre un cambio debido a las interacciones químicas intensas con el bioadsorbente. Comparado con la fisisorción, las energías o fuerzas de enlace son más intensas, ya que son útiles para los cambios químicos de los iones metálicos.

Por su parte Condor y Maza (2020), afirman que la quimisorción es llamada también adsorción química, y aseguran que la interacción o enlace que se presenta entre las moléculas del bioadsorbente y adsorbato son de naturaleza covalente.

2.1.7.3. Intercambio iónico. De acuerdo con Saloua (2010), la bioadsorción por intercambio iónico es un proceso donde los iones de una solución se ubican en la paredes o parte externa del bioadsorbente debido a sus sitios cargados, como producto de las fuerzas electrostáticas. Este mecanismo de intercambio se produce debido a que el bioadsorbente es activado con un ácido o base, cargando la superficie del solido con iones débiles de fácil desprendimiento, que a su vez estos iones se intercambian por iones metálicos que se encuentran en el líquido acuoso.

2.1.8. Principales factores que afectan al proceso de bioadsorción

Saloua (2010) afirma que en la bioadsorción existen diversos factores que pueden tanto beneficiarla como no favorecerla dependiendo de las condiciones impuestas, las cuales se explicarán a continuación:

2.1.8.1. Composición fisicoquímica del bioadsorbente. De acuerdo con Saloua (2010), la composición o el tipo de material del bioadsorbente puede ser poroso, para este caso el proceso de bioadsorción por lo general suele ser de tipo físico, en donde los iones metálicos se van adsorbiendo sucesivamente formando capas continuas (multicapas). Por otro lado, para residuos que no tienen consistencia porosa, el proceso de bioadsorción suele ser el mecanismo químico o intercambio iónico, donde la superficie del bioadsorbente están formados por fenoles, ácidos carboxílicos, sulfato, alcoholes, amino y fosfato.

2.1.8.2. Composición fisicoquímica del adsorbato. En general los adsorbatos tienen una naturaleza muy variada como por ejemplo materia orgánica, metales pesados, etc. No hay que olvidar que este trabajo de investigación se basa en la bioadsorción de metales pesados, por ello nos centraremos en explicar su naturaleza como adsorbato. Así pues, basándonos en la caracterización de drenaje ácido realizado por Baca (2020), Gallardo y Acuña (2020) de las minas del centro poblado Algamarca, donde explican que dichos drenajes tienen grandes cantidades iones metálicos, podemos deducir que el drenaje minero que vamos a tratar mediante la bioadsorción contienen iones metálicos (adsorbato) que sobrepasan los límites máximos permisibles; de los metales mencionados, solo analizaremos al cadmio (II) y arsénico (V).

2.1.8.3. Concentración del bioadsorbente y del adsorbato. Saleh (2014), afirma que la concentración del bioadsorbente y del adsorbato influyen en la eficacia de la bioadsorción, ya que un aumento en la cantidad del bioadsorbente genera que la eficacia en la retención de metales aumente, debido a que existirá más superficies del bioadsorbente para que los metales puedan ser retenidos por la red porosa que posee. Por otro lado, al aumentar la cantidad y concentración de metales, la capacidad de bioadsorción del bioadsorbente disminuye, porque los lugares activos ya están ocupados.

2.1.8.4. Influencia del pH. Desde el punto de vista de Saloua (2010), el pH es el parámetro más significativo de la bioadsorción ya que interviene en la composición química de los iones metálicos y en su retención por los grupos funcionales del bioadsorbente.

De igual forma Trujillo (2015) afirma que a pH bajos la superficie del bioadsorbente se vuelve positiva debido a que existe competencia entre los metales (cationes metálicos) y los iones hidrógenos, generando que la capacidad de bioadsorción disminuya, ahora bien, cuando el pH se eleva existe un beneficio en la remoción de los metales, ya que disminuye los iones hidrógenos.

No obstante, a pH muy elevados, la bioadsorción cesa, ya que comienza a precipitarse el metal en forma de hidróxido. Por lo tanto, el pH afecta la bioadsorción de aniones, así como también la de cationes, ya que a pH mayores que 4 favorece el proceso de bioadsorción de cationes, mientras que a pH entre 1.5 y 3 favorece el proceso de bioadsorción de aniones (Tenorio, 2006).

2.1.8.5. Presencia de otros iones, metales, co-iones. De acuerdo con Saloua (2010), menciona que generalmente la bioadsorción se emplea para poder adsorber iones metálicos que se encuentran en los drenajes mineros. La remoción de estos iones es afectada por que en la solución o drenaje existen otros tipos de iones los cuales compiten por los lugares activos que presenta el bioadsorbente. Asimismo, Tenorio (2006), también menciona que es posible la disminución de la remoción de metales, ya que se presenta la competencia de otros iones, afectando la bioadsorción de los metales.

2.1.8.6. Sitios de unión del bioadsorbente. Según Tenorio (2006), los bioadsorbentes contienen muchos grupos funcionales que contribuyen al proceso de bioadsorción de iones de metálicos, como las amidas, aminas, fosfodiéster, carbonilo, carboxilo y los hidroxilo, etc. Para que los grupos retengan de manera eficaz los metales se deben presentar los siguientes factores de cantidad, accesibilidad y disponibilidad de sitio en el material bioadsorbente, además debe existir afinidad entre el sitio y el metal.

2.1.8.7. Pretratamiento del bioadsorbente. Según Trujillo (2015), afirma que existen una variedad de pretratamiento del bioadsorbente con el fin de mejorar la eficacia en la bioadsorción de los iones metálicos presentes en los drenajes de mina, así, por ejemplo, el pretratamiento puede ser una pirolisis, produciendo carbón activado; o bien en una transformación de la pared celular, aumentando los sitios de unión.

Los pretratamientos más comunes son los físicos (como reducción del tamaño de partícula o tratamientos térmicos) y los químicos (tratamiento del bioadsorbente con un ácido o una base). Por lo general los pretratamientos físicos, son simples y baratos. Por el contrario, los tratamientos químicos son los más utilizados dada su alta eficacia, empleándose agentes químicos como ácidos y bases; sin embargo, estos tratamientos son costosos, generando también la pérdida de bioadsorbente, entorpeciendo su uso a largo plazo.

2.1.8.8. Sistema de contacto. Saloua (2010), menciona que, para realizar la bioadsorción de un metal presente en una solución, se utilizan dos tipos de sistema de contacto en laboratorio, uno es el experimento en sistema continuo o llamado en columnas, y el otro es el sistema discontinuo o llamado batch. Los sistemas en discontinuo se realizan en un tiempo corto basándose en la agitación y combinación de cantidades fijas del compuesto a adsorber, obteniendo los mejores datos de valores para tiempo y velocidad de agitación, pH, dosis del bioadsorbente, etc. Luego, el resultado de estos datos servirá para poder aplicarlos a los sistemas continuos obteniendo resultados mucho más ajustado a la realidad, pero el sistema continuo es mucho más complejo y riguroso, lo cual toma tiempo su aplicación. Por esta razón en las investigaciones se trabaja mayormente con el sistema en discontinuo, ya que en menos tiempo se puede sacar buenos resultados con concentraciones o cantidades mínimas.

2.1.8.9. Selectividad. De acuerdo con Trujillo (2015), menciona que el factor selectividad es aquella donde un bioadsorbente tiene ciertas preferencias o afinidades por algunos iones metálicos, dependiendo de los mecanismos de bioadsorción implicados, la clase de pretratamiento aplicado y el tipo de bioadsorbente.

Para Díaz et al. (2019) la pepa o endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) llega a obtener elevados porcentajes de bioadsorción para el cadmio, cobre, hierro, níquel y plomo, obteniendo

por lo tanto una alta afinidad por estos metales. Mientras que para Saloua (2010), el endocarpio tiene buena afinidad para la bioadsorción de arsénico. Así también, para Obregón (2012), y Fiol et al. (2006) el endocarpio tiene buena afinidad para la bioadsorción de cadmio.

2.1.8.10. Tamaño de partícula. Con respecto al tamaño de partícula del bioadsorbente, Trujillo (2015), menciona que al reducirse la dimensión de la partícula del bioadsorbente, aumentamos el área total de superficie para la bioadsorción del metal, por ende, generando un aumento en el porcentaje de bioadsorción.

2.1.9. Equilibrio de adsorción

De acuerdo con Rodríguez (2019), define el equilibrio de adsorción de la siguiente manera: Indica la relación de la distribución del adsorbato entre la fase sólida y la fase líquida. De modo similar Dabrowski (2001), citado por Zelada (2021), señala que: “El concepto fundamental en la ciencia de la adsorción es el denominado isoterma de adsorción, siendo la relación de equilibrio entre la cantidad de material adsorbido y la concentración en la fase de fluido a temperatura constante” (p. 22). En síntesis, el equilibrio de adsorción se representa por medio de isotermas de equilibrio y dependen de la composición, concentración y tipo de del adsorbato o metal presente en la solución, asimismo también depende del pH y del sistema de intercambio iónico, etc. (Barreto, 2021).

2.1.10. Capacidad de adsorción

Izquierdo (2010), menciona que la capacidad de bioadsorción que tiene el bioadsorbente o la concentración de metal en la fase sólida (q_e) se calcula sabiendo la cantidad de bioadsorbente introducido (M), la concentración inicial del metal (C_0), el volumen de disolución (V) y la concentración de metal en equilibrio en la fase líquida (C_e), representado matemáticamente en la ecuación 5:

Ecuación 5*Capacidad de Adsorción.*

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{M}$$

Dónde Ruiz (2018), describe los componentes de la ecuación 5 de la siguiente manera:

- q_e : Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg de soluto/ g del adsorbente).
- C_o : Concentración inicial (mg/L) en una solución de volumen (L).
- C_e : Concentración final o en el equilibrio (mg/L) luego de la adsorción.
- M: Masa del adsorbente (g).
- V: Volumen de la solución (L).

2.1.11. Porcentaje de adsorción

De acuerdo con Ordoño y Mendoza (2020), calculan el porcentaje de adsorción mediante la ecuación 6:

Ecuación 6*Porcentaje de Adsorción.*

$$\%A = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} * 100$$

Los términos que presenta la ecuación se describen a continuación:

- C_e : Concentración final del adsorbato (mg/L).
- C_o : Concentración inicial del adsorbato (mg/L).
- %A: Porcentaje de adsorción (mg/g).

2.1.12. Tipos de isoterma de adsorción

Según Palomino (2016), cuando el bioadsorbente está en contacto con el adsorbato se alcanza luego de un tiempo un estado de equilibrio, generando una distribución del adsorbato entre el bioadsorbente y la solución, indicando una proporción entre la concentración de los iones en el equilibrio de la solución y los iones adsorbidos por cada gramo de bioadsorbente, dicha distribución es representada por una gráfica llamada isoterma. Asimismo, las isotermas de adsorción son importantes para diseñar sistemas de adsorción para el uso tecnológico, también evalúa la viabilidad de un adsorbente adecuado y determina la cantidad óptima de adsorbente.

De acuerdo con McCabe et al., (2007), citado por Barreto (2021), la clasificación de las isotermas se presentan en 3 tipos, las cuales se mencionarán continuación:

- **Lineal:** esta isoterma se genera cuando se presenta una relación de proporcionalidad entre la cantidad que se adsorbe de soluto y la concentración que existe en la solución, en otras palabras, se adsorbe mayor cantidad de soluto cuando la concentración en la solución va aumentando.
- **Cóncava:** esta isoterma se genera cuando el soluto adsorbido se va acercando a un valor constante, además, son isotermas favorables al proceso bioadsorción ya que hay mucha afinidad entre el bioadsorbente y el adsorbato, obteniéndose gran cantidad adherida del adsorbato en el bioadsorbente.
- **Convexa:** esta isoterma presenta baja afinidad entre el bioadsorbente y el adsorbato, ya que no se presenta mucha cantidad del adsorbato adherido al bioadsorbente, por ello son isotermas desfavorables.

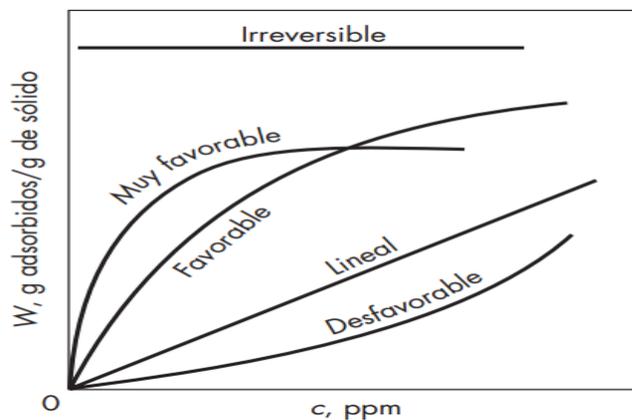
Así pues, el autor menciona que existen tres tipos de isotermas (lineal, cóncava y convexa), basados en la cantidad que se va adsorbiendo de iones metálicos y basados también en la afinidad

que se presenta entre el adsorbato y el bioadsorbente; de acuerdo con esta clasificación podremos saber a qué tipo de isoterma se van relacionando los modelos de Langmuir y Freundlich que obtendremos con los datos de la experimentación.

Por su parte Paredes (2011) menciona un cuarto tipo de isoterma llamada **Irreversible**, la cual describiremos como aquella isoterma en donde el número de iones adsorbidos se mantiene constante al incrementarse la concentración de la solución, y su grafica se describe o visualiza como una recta paralela al eje de abscisas. A continuación, se visualizan gráficamente los tipos de isotermas mencionados en la figura 5.

Figura 5

Tipos de Isotermas de Adsorción.



Nota. Se observan los tipos de isoterma las cuales se clasifican en irreversible, muy favorable, favorable, lineal y desfavorable; en función de la capacidad de bioadsorción del bioadsorbente y la concentración del adsorbato. Adaptado de *Operaciones unitarias en ingeniería química* (p.880), por McCabe et al., 2007, McGraw-Hill/Interamericana.

Por otro lado, Izquierdo (2010) menciona que los modelos o isotermas de equilibrio pueden clasificarse en modelos ideales, y los más utilizados en la adsorción son el modelo de Freundlich y de Langmuir.

2.1.12.1. Modelo de Langmuir. Con respecto al modelo de Langmuir, Izquierdo (2010) menciona que es un modelo no lineal, utilizado para representar adsorciones homogéneas, y que posee las siguientes características:

- El proceso de adsorción tiene lugar sobre una superficie homogénea.
- Se forma una monocapa de adsorbato cuando se alcanza la saturación.
- La energía de adsorción es constante.
- No hay interacción entre las moléculas adsorbidas, permanecen inmóviles (p. 58).

Asimismo, Gutiérrez (2015), afirma que en el modelo de Langmuir se presentan las siguientes características:

- La mayoría de los sitios de bioadsorción están caracterizados por grupos funcionales iguales.
- El número de superficies de adsorción es aproximado (no se sabe).
- La adsorción es independiente de la cobertura superficial.

Análogamente Palomino (2016), afirma que no hay interrelación entre los iones adsorbidos y que cada lugar presente en la superficie del bioadsorbente retiene un solo ion. Debido a esto, el análisis de la capacidad máxima de bioadsorción se da solo en una capa monolaminar de la superficie del bioadsorbente, y solo existe en la isoterma de Langmuir.

Por consiguiente, Ordoño y Mendoza (2020), mencionan que los iones metálicos se adsorben o unen a la superficie del adsorbente que contienen poros, mediante enlaces o fuerzas químicas, y además representan matemáticamente el modelo de Langmuir mediante la ecuación 7:

Ecuación 7

Representación Matemática del Modelo de Langmuir.

$$q_e = \left(\frac{q_{max} * C_e * K_L}{1 + K_L * C_e} \right)$$

En la ecuación 7 procedemos a linealizarla, con el fin de obtener los valores de q_{max} y b

Ecuación 8

Primera Forma de la Representación Matemática Linealizada del Modelo de Langmuir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * K_L} + \frac{1}{q_{max}} * C_e$$

Asimismo, se puede representar mediante la ecuación 9

Ecuación 9

Segunda Forma de la Representación Matemática Linealizada del Modelo de Langmuir.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * K_L * C_e} + \frac{1}{q_{max}}$$

Donde:

- q_{max} : es la capacidad o tasa máxima de retención de metal por unidad de masa de adsorbente (mg de metal/ g bioadsorbente) o también llamada capacidad máxima de bioadsorción (mg/g).
- C_e : Concentración final del ion metálico después del tratamiento o en el equilibrio (mg/L).
- q_e : Capacidad de bioadsorción en equilibrio (mg/g), es decir, indica la concentración metálica / g de bioadsorbente.
- K_L : esta constante está relacionada con la energía o intensidad de bioadsorción (L/mg), dicho en otras palabras, es la afinidad que tiene el ion metálico por los grupos funcionales

del bioadsorbente, manera que un elevado valor de K_L es indicativo de una mayor afinidad, él K_L es llamado constate de Langmuir.

Con respecto a la constante q_{max} , Ordoño y Mendoza (2020) afirman que cuando el tratamiento de bioadsorción alcanza un equilibrio, los lugares activos del bioadsorbente son llenados en su totalidad, en base a esto, la constante q_{max} son la máxima cantidad de lugares activos para la bioadsorción.

Adicionalmente Taha (2014), citado por Barreto (2021), afirma que que el modelo de Langmuir presenta un factor de separacion R_L , caracterizandose por ser una constante adimensional, la cual se calcula mediante la ecuación 10:

Ecuación 10

Constante Adimensional R_L .

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L * C_o}$$

Donde:

- C_o (mg/L): esto representa la concentración inicial del ion adsorbato o metal.
- K_L (L/mg): Constante de Langmuir (p. 57).

Además de acuerdo con Barreto (2021), menciona que dependiendo del valor de R_L , la isoterma puede adquirir determinadas características, por ejemplo:

- $R_L = 0$, entonces la isoterma es irreversible.
- $R_L > 1$, entonces la bioadsorción de los iones metálicos no es significativa, por lo tanto, la isoterma es desfavorable
- $0 < R_L < 1$, entonces la isoterma indica que la bioadsorción es favorable.

- $R_L = 1$, entonces la isoterma es lineal (pp. 58).

2.1.12.2. Modelo de Freundlich. De acuerdo con Eggs et al. (2012), citado por Rodriguez (2019), menciona que el modelo determina que la adsorción de los iones se sitúa heterogéneamente en todos los lugares activos del adsorbente formando monocapa.

En la distribución heterogénea no se genera agrupación de moléculas luego de ser adsorbidas en las paredes del bioadsorbente, y a su vez no se presenta quimisorción; así mismo dicha distribución es causada porque los sitios activos presentan diversas afinidades, es decir, primero se van llenando los lugares más afines con los metales, y por último se ocupan los lugares menos afines con dichos metales. De manera que, en la isoterma de Freundlich la bioadsorción es puramente un proceso físico, y sin modificaciones en la estructura de los iones al ser adsorbidos, según la siguiente ecuación 11 que representa matemáticamente el modelo de Freundlich (Ordoño y Mendoza, 2020).

Ecuación 11

Representación Matemática del Modelo de Freundlich.

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}}$$

Davis et al. (2003), citado por Ordoño y Mendoza (2020), afirman que la ecuación que representa el modelo de Freundlich se linealiza en forma de logaritmos con el objetivo de poder hallar la cantidad de $1/n$ y la constante K_f (ecuación 12). Esta isoterma es ideal cuando en la bioadsorción se presenta concentraciones pequeñas de metal debido a que no puede ser saturado el biosorbente, cuya expresión sería:

Ecuación 12

Representación Matemática Linealizada del Modelo de Freundlich.

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} * \log C_e$$

- q_e : Capacidad de bioadsorción en equilibrio (mg/g); es la cantidad de metal adsorbido en el equilibrio (mg/g), es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente en equilibrio (mg /g).
- C_e : Concentración final de los iones metálicos en el equilibrio (mg/L); es la concentración residual del metal en solución (mg/L).
- K_f : Constante de Freundlich (mg/g); esta constante indica el estado de equilibrio de la bioadsorción, además, relacionada a la capacidad de bioadsorción del bioadsorbente.
- n : Constante de intensidad de bioadsorción ($n > 1$); se relaciona en base al grado de heterogeneidad que existe en el bioadsorbente y a la fuerza de junte presente entre el adsorbato y el bioadsorbente.

Tal como señala Delle Site (2001), citado por Palomino (2016), indica que la isoterma de Freundlich posee diversos tipos, el cual se clasifica de acuerdo al valor de $1/n$:

- La isoterma tiene clasificación C si $1/n = 1$.
- La isoterma tiene clasificación L si $1/n < 1$.
- La isoterma tiene clasificación S si $1/n > 1$.

2.2. Definiciones Generales

- **Metales disueltos:** Son aquellos metales presentes en forma de moléculas, átomos, cationes o aniones en una muestra de agua que tienen un tamaño inferior a $0,45 \mu\text{m}$ (micras) (Lopez,

- 2017). Los metales disueltos se determinan en una muestra de agua no acidificada que pasan a través de un filtro de membrana de 0,45 μm (micras) de poro. (Sadzawka R, 2006).
- **Metales suspendidos:** Aquellos metales presentes en una muestra no acidificada que son retenidos por un filtro de membrana de 0,45 μm (micras) de poro (Sadzawka R, 2006).
 - **Metales totales:** Es la concentración total de metales suspendidos y disueltos, estos se analizan en muestras que no han sido filtradas, pero si preservadas con ácido para su determinación (Lopez, 2017).
 - **Metales pesados:** Los metales pesados son elementos químicos que se caracterizan por tener una densidad mayor a 5 g/cm^3 , siendo por lo menos cinco veces mayor que la del agua y son tóxicos para los seres humanos. Comprenden 38 elementos, de los cuales el cobalto (Co), arsénico (As), mercurio (Hg), zinc (Zn), cadmio (Cd), estaño (Sn), cobre (Cu), cromo (Cr), plomo (Pb) y níquel (Ni) son los más importantes (Lopez, 2017).
 - **Absorción:** Fenómeno en el cual una sustancia o adsorbato es succionada hasta el interior del sorbente y allí mantenida, por lo general el proceso se da en biomasa viva (Rey, 2016).
 - **Biosorción:** La biosorción es un fenómeno fisicoquímico que se basa en la adsorción y absorción de iones o moléculas, que tiene como objetivo principal la remoción de metales pesados de las aguas residuales mediante biosorbentes biológicos inertes y activos. (Tejada et al., 2015).
 - **Adsorción:** Proceso donde los adsorbatos (estos pueden ser moléculas, iones) son retenidos en las superficies o paredes porosas del adsorbente por enlaces fisicoquímicos, apartándolas de la disolución o muestra donde se encontraban inicialmente (García, 2021).

- **Bioadsorción:** Es cuando la adsorción se da mediante la aplicación de material biológico en el cual el adsorbato (iones) se adhieren a la superficie del bioadsorbente mediante enlaces fisicoquímicos (García, 2021).
- **Drenaje ácido de mina:** Es drenaje ácido de color rojizo que se obtiene cuando el estrato que posee piritita se expone a ambientes oxidantes y al oxígeno de la atmósfera, dicho drenaje contiene iones metálicos, sulfatos, hierro, etc. (Cruz y Espinoza, 2022).
- **Endocarpio de aceituna (*Olea europaea*):** Es la cápsula lignocelulósica que presenta celulosa, hemicelulosa y lignina cuya función es proteger a la semilla, representa entre el 18 y 22% del peso de la aceituna (*Olea europaea*). (Saleh, 2014, p. 19).

2.3. Normativa Ambiental

Con el propósito de preservar el ambiente y preservar los recursos hídricos cuando se descargan efluentes a los cuerpos de agua, la normativa peruana ambiental ha designado un complemento de normas para cuidar estos recursos regulando los diversos parámetros involucrados (Saloua, 2010). A continuación, presentaremos la normativa de interés para esta investigación:

2.3.1. Ley General del Ambiente N° 28611

Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible

32.1.- El Límite Máximo Permisible (LMP), mide la concentración de parámetros físicos, químicos, biológicos, elementos y sustancias que identifican a un efluente, éstos al ser excedidos pueden causar daños a la salud, y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y las organizaciones Nacionales de Gestión Ambiental, además, el Ministerio del Ambiente establece las sanciones y las **supervisiones** (MINAM, 2005, p. 34).

2.3.2. Límites Máximos Permisibles (LMP)

Aprobado por el D.S. 010-2010-MINAM, “Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas”. Por ejemplo, el límite máximo permisibles para el Cadmio (Cd) total y para el Arsénico (As) total en cualquier momento en mg/L es de 0.05 y 0.1 respectivamente. En la tabla 7 se presentarán todos los límites máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de actividades Minero–Metalúrgicas.

Tabla 7

Límites Máximos Permisibles para Descargas de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

Parámetros	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		06 – 09	06 – 09
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente (*)	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Nota. Tomado del *Decreto Supremo N°010-2010-MINAM*. (p. 4), por MINAM, 2010, Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de Investigación

Tipo de investigación: es de tipo Aplicada

Debido a que se requiere cumplir con los objetivos propuestos para resolver la problemática generada por la contaminación de aguas mediante el fenómeno de bioadsorción. De acuerdo con Hernández et al. (2014), argumenta que el fin de la investigación aplicada es contrastar la hipótesis a prueba, lograr los objetivos del estudio y responder las interrogantes en la formulación del problema.

Así pues, en la presente investigación se utilizó material residual orgánico para emplearlo como bioadsorbente con el objetivo de remover la concentración de cadmio (II) y arsénico (V) presentes en el drenaje minero, con el fin de obtener agua de calidad que no perjudique el ambiente y la salud de la población.

Diseño de investigación: Experimental

El presente estudio de tesis se desarrolló bajo un diseño experimental dado que el investigador manipuló y controló las variables independientes con el fin de observar el efecto que se presentó en las variables dependientes, estableciéndose una relación. A la vez también tiene un enfoque cuantitativo pues la respuesta de la investigación se traduce en números, datos y conclusiones orientadas al resultado.

Teniendo en cuenta a Hernández et al. (2014), define el diseño experimental como el manejo intencional de las variables independientes (supuestas causas antecedentes), con el objetivo de estudiar los resultados que se obtendrán en las variables dependientes (efectos obtenidos), donde el investigador tendrá el control y manejo. Además, Kerlinger (2002) también

corroborar o afirmar que en este tipo de diseños se interviene en las variables independientes, para después observar o analizar un efecto producido en las variables dependientes estableciendo si hay variación asociada al manejo de la variable independiente” (p. 420).

En consecuencia, en esta tesis se analizó los efectos que produce el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) (variable independiente) en la bioadsorción del cadmio (II) y arsénico (V) (variable dependiente) contenidos en el drenaje minero.

Nivel de investigación: Explicativo

El nivel de la investigación es de tipo explicativo. Por ello Sanca (2011), menciona que la investigación explicativa se basa en responder el porqué del objeto estudiado, mediante el análisis de información recolectada de fuentes bibliográficas.

Por tal razón los estudios experimentales se basaron en antecedentes, marco teórico y conocimientos de investigaciones anteriores, conociendo de esta manera las propiedades, causas, leyes y efectos del proceso de bioadsorción para el entendimiento del fenómeno, donde se relacionó la variable dependiente (bioadsorción del cadmio (II) y arsénico (V)) y la variable independiente (endocarpio de aceituna (*Olea europaea*)) mediante la manipulación de las condiciones operacionales.

3.2. Ámbito Temporal y Espacial

Ámbito Temporal

El presente estudio se llevó cabo a lo largo de 12 meses, desde el mes de enero del 2023 hasta diciembre del 2023, cabe resaltar que la experimentación se realizó en los meses julio y agosto, con la finalidad de alcanzar los objetivos y resultados esperados.

Ámbito Espacial

El lugar de estudio se localiza en la región de Cajamarca, en la provincia de Cajabamba, el distrito donde se realiza la toma de muestra se llama Cachachi, y siendo aún más específicos en el centro poblado de Algamarca. Asimismo, las muestras de drenaje ácido fueron recolectadas específicamente de la parte exterior de la minería “Nivel Quinto”.

En la tabla 8 se indican las coordenadas geográficas, coordenadas UTM y la altitud donde se recolectó las muestras de drenaje ácido de mina.

Tabla 8

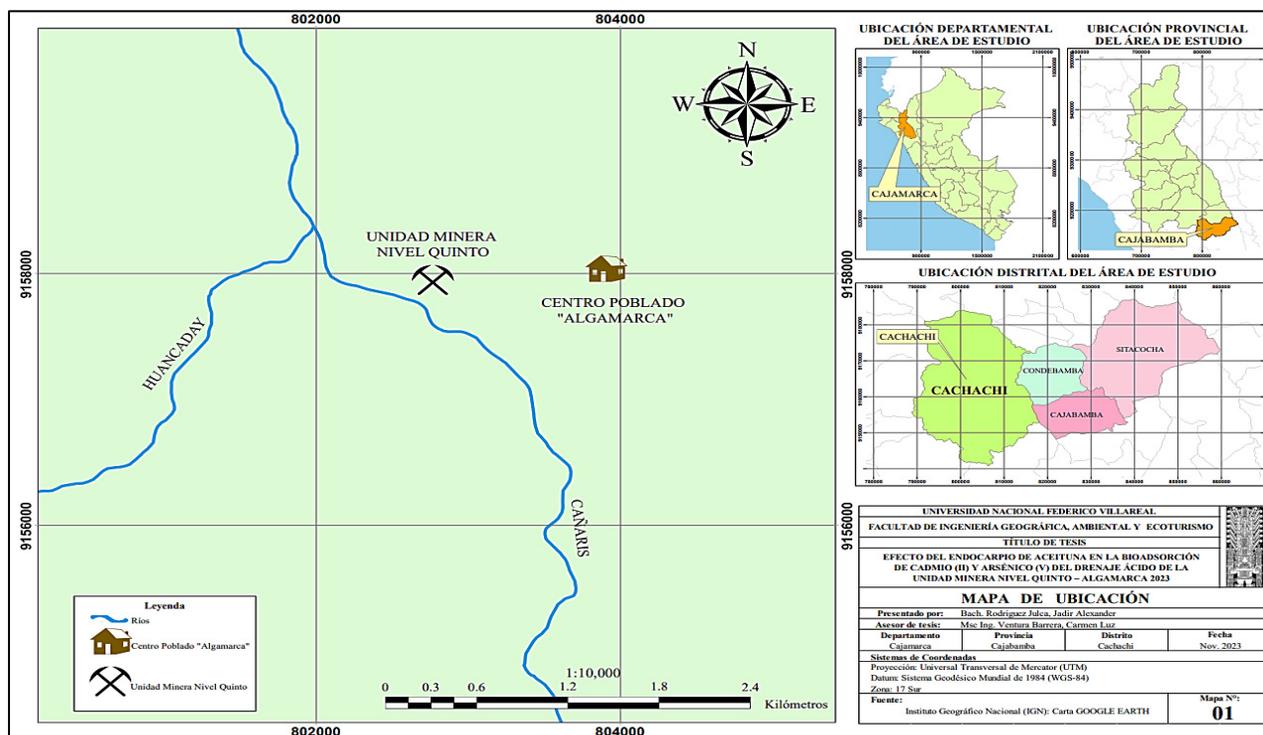
Coordenadas de Ubicación de la Unidad Minera Nivel Quinto.

	Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM (metros)	Zona, Hemisferio	Altitud
Unidad minera Nivel Quinto	Latitud (Sur) : 7° 36' 33.21"	X (este): 802773	17 S	2691msnm
	Longitud (Oeste): 78° 15' 21.83"	Y (Norte): 9157942		

Nota. Coordenadas de ubicación geográfica, coordenadas UTM, zona, hemisferio y altitud de la unidad minera llamada Nivel Quinto.

Figura 6

Mapa de Ubicación de la Unidad Minera Nivel Quinto.



Nota. Esta figura representa el lugar donde se encuentra la unidad minera nivel quinto, así como también la ubicación del centro poblado Algamarca.

Por otro lado, los ensayos experimentales se desarrollaron en la empresa Innodevel y los análisis de metales disueltos del drenaje minero fueron elaborados por el laboratorio acreditado SGS, ambos ubicados en Cajamarca.

3.3. Variables

- **Variable independiente:** Endocarpio de aceituna (*Olea europaea*).
- **Variable dependiente:** Bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V).

Adicionalmente se muestra operacionalización de la variable dependiente e independiente, en donde se explica las definiciones conceptuales y operacionales, también las dimensiones e indicadores, etc. Todo ello resumido a continuación en la siguiente tabla 9

Tabla 9

Operacionalización de Variables.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Instrumentos
Variable independiente:	El endocarpio está formado por celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales poseen grupos funcionales como los carboxilos, hidroxilos, amino, amido, polisacáridos, alcoholes, esterres, etc., éstos enlazan iones metálicos disueltos por diferentes mecanismos como la adsorción física, quimisorción, etc., sustituyendo un hidrógeno por un ion metálico presente en la disolución (Tejada et al., 2015)	Los endocarpios se retiraron de las aceitunas (<i>Olea europaea</i>), luego se lavaron con abundante agua y se procedió a secarlas en la mufla a 40°C para eliminar el contenido de humedad. Posteriormente los endocarpios fueron triturados en un molino manual, luego fueron tamizados con una malla N° 60 para obtener partículas finas de 250 µm. Al final se pesaron 4, 6, 8 y 10 gramos de endocarpio para aplicar al drenaje ácido de mina.	Área superficial	Tamaño de partícula 250 (tamiz N° 60).	µm	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de ubicación y características del punto de monitoreo. • Formato de anotación y observación en la experimentación. • Cadena de custodia. • Reporte de resultados de los análisis.
Endocarpio de Aceituna (<i>Olea europaea</i>)			Dosis	Pesos de Endocarpio tratado (4, 6, 8 y 10).	g	
Variable dependiente:	El término adsorción es un proceso fisicoquímico por el cual una sustancia se adhiere en la superficie de otra, mientras que el prefijo “bio” implica el uso de materiales biológicos, por lo que el concepto de bioadsorción se refiere a un proceso pasivo de secuestro del metal por los sitios químicos presentes en la superficie de la biomasa, de forma natural, incluso cuando se trata de naturaleza inerte (Trujillo, 2015).	Proceso pasivo de secuestro de cadmio (II) y arsénico (V) presentes en los drenajes ácidos mina, por los sitios químicos activos naturales del endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>), para una agitación y tiempo de sedimentación determinado.	Retención de Cadmio (II)	[Cd] inicial. [Cd] final.	mg/L	
			Retención de Arsénico (V)	[As] inicial. [As] final.	mg/L	
			Ácidoz del medio acuoso.	Potencial de hidrógeno (4.5 - 5.5).	Unidad de pH	
			Tiempo de sedimentación determinado.	Tiempo de sedimentación (60).	Min.	
Bioadsorción cadmio (II) y arsénico (V)			Agitación determinada	Velocidad de agitación (200). Tiempo de agitación (90).	RPM Min.	

3.4. Población y Muestra

Población

La población de acuerdo con Palomino et al. (2015), es aquella agrupación infinita o finita de elementos con rasgos semejantes, a las que se le someten a un análisis

En este sentido la población está compuesta por el drenaje ácido provenientes de la mina Nivel Quinto que se localiza en la región de Cajamarca, en la provincia de Cajabamba, el distrito donde proviene el drenaje ácido se llama Cachachi, y siendo aún más específicos en el centro poblado de Algamarca.

3.4.2. Muestra

La técnica de muestreo aplicado en esta investigación fue la no probabilística discrecional o intencional debido a que mediante esta técnica se seleccionan elementos o unidades más representativas en base a la experiencia o juicio profesional del investigador, con el objetivo de obtener resultados más precisos (Otzen y Manterola, 2017).

Por consiguiente, en la presente investigación se recolectó como muestra, 8 litros de drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto.

3.4.3. Unidad de análisis

Teniendo en cuenta a Supo (2012), define a la unidad de análisis como aquel objeto donde se interviene y se aplican las mediciones.

Por lo tanto, para el presente estudio o tesis la unidad de análisis fue el drenaje ácido de mina tratado con endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), ya que a partir de ella realizamos las mediciones y obtuvimos resultados.

3.5. Instrumentos

En esta sección de la investigación se detallan los instrumentos que se utilizaron para recopilación de información, asimismo, se describe los materiales, equipos e insumos utilizados en la toma de muestras, en la experimentación y pruebas realizadas.

3.5.1. Instrumentos para la recopilación de información

Para la recolección y selección de información en la experimentación de esta tesis se utilizó el formato establecido por el Protocolo de monitoreo de calidad de agua del Subsector Minería del Ministerio de Energía y Minas. Además, también empleamos los formatos de cadena de custodia y los reportes de resultados brindados por SGS. A continuación, se mencionarán aquellos instrumentos empleados en la recopilación de datos e información, estos se verifican en el anexo de la presente investigación.

- Formato de ubicación y características del punto de monitoreo.
- Formato de anotación y observación en la experimentación.
- Cadena de custodia.
- Reporte de resultados de los análisis.

3.5.2. Materiales para recolección de muestra

- Balde de 2 litros.
- Galón de 8 litros.
- Caja de papel tissue o pañuelos suaves.
- Jarra de 1 litro.
- EPPS (zapatos, lentes de seguridad, casco, guantes de nitrilo, mascarilla kn95, chaleco).

3.5.3. *Materiales de laboratorio*

- Bagueta de metal.
- Cooler Coleman de 5 Litros color azul.
- Crisol (4 unidades).
- Espátula de laboratorio.
- Frascos colectores de muestras.
- Goteros de plástico.
- Guantes de nitrilo o látex.
- Guardapolvo.
- Lentes de seguridad Clute azul.
- Mascarilla KN95.
- Pipeta 10 ml y perilla
- Mortero y pilón de vidrio.
- Papel filtro.
- Papel tissue.
- Piseta 500 ml.
- Vaso de precipitado beaker de 500 mL (5 unidades).
- Tamiz o malla metálica N° 60.

3.5.4. *Equipos de laboratorio*

- Balanza analítica marca GREETMED.
- Equipo de Prueba de Jarras modelo JLT6, marca VELP SCIENTIFICA.
- Mufla modelo FURNACE 48000, marca BARNSTEAD THERMOLYNE.
- Multiparámetro modelo ORIÓN STAR A221, marca THERMO SCIENTIFIC.

- Agitador magnético marca HEIDOLPH, y sus pastillas magnéticas de 2.5 cm.
- Molino manual para granos marca corona.

3.5.5. Reactivos e insumos

- Alcohol de 70°.
- Agua destilada 10 L.

3.5.6. Materiales de escritorio

- Caja de lapiceros.
- Cuaderno de apuntes.
- Hoja bond A4 para formatos, copias e impresiones.
- Marcador.
- Tablero de apunte.

3.5.7. Equipos de escritorio

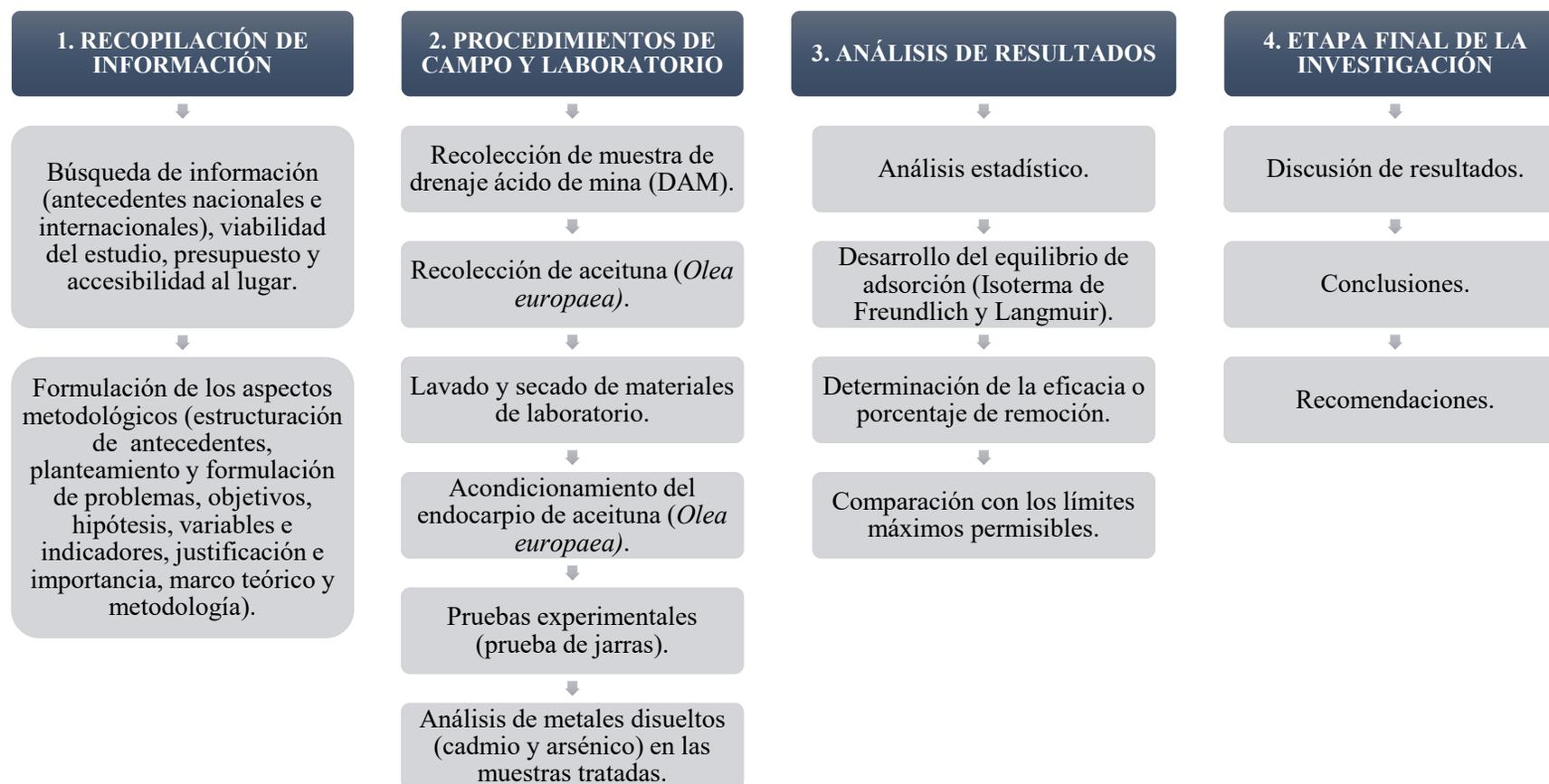
- GPS.
- Laptop Asus Intel CORE i7. Windows 10 Home.

3.6. Procedimientos

Para determinar el efecto o resultado de aplicar el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) en la bioadsorción de los iones metálicos de cadmio y arsénico presentes en el drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto, se siguió el orden del diagrama de acuerdo con la Figura 7

Figura 7

Diagrama del Procedimiento de la Investigación.



Nota. En la figura se muestra el resumen del procedimiento que se empleó en la investigación. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describirán con más detalles las etapas del procedimiento

3.6.1. Recopilación de Información

En esta etapa se realizó la búsqueda de información como antecedentes nacionales e internacionales, la viabilidad del estudio, el presupuesto y accesibilidad al lugar.

Además, se realizó la formulación de los aspectos metodológicos como la estructuración de antecedentes, formulación y planteamiento de problemas, hipótesis, justificación e importancia, objetivos, variables e indicadores, marco teórico y metodología.

La segunda etapa se dividió en campo y laboratorio. El procedimiento de campo comprende la recolección de muestra de drenaje ácido de mina y la recolección de aceituna (*Olea europaea*), mientras que el procedimiento en laboratorio comprende el lavado y secado de materiales de laboratorio, el acondicionamiento del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), las pruebas experimentales y los análisis de muestras tratadas.

Procedimientos en campo

3.6.2. Recolección de muestra de drenaje ácido de mina

Primero se preparó los equipos e instrumentos necesarios para la toma de muestra:

- Se recogió paquete o cooler entregado por el laboratorio SGS, en el cual contenían 14 frascos, la cadena de custodia y guantes, verificándose su buen estado.
- Se alistó los equipos (GPS, multiparámetro, conductímetro, termómetro) y materiales (balde, galones, papel tissue, jarra, hojas de apuntes) necesarios para la recolección de muestra.
- Se alistó el equipo de protección personal (EPPs) para realizar el muestreo o recojo de muestras los cuales incluyo casco, lentes, zapatos, guantes, chaleco

- Se identifico el punto de muestreo donde se recolectará la muestra de la unidad minera Nivel Quinto.

La toma de muestras se realizó de acuerdo con las especificaciones y métodos de muestreo establecidos en el protocolo de monitoreo de calidad de agua del Subsector Minería del Ministerio de Energía y Minas.

- Posteriormente se adquirió muestras para la medición de los parámetros in situ como la temperatura y pH.
- Luego se procedió a escribir o rotular los envases para realizar el recojo de muestra, tal como menciona el formato entregado por SGS.
- Se tomó las muestras de drenaje en los frascos sumergiendo el envase de forma contraria al flujo del agua de drenaje.
- Se cerró los envases y se guardan en el cooler.
- Después se completó la cadena de custodia entregada por SGS, donde se coloca las características y descripción del muestreo realizado.

La muestra de DAM junto a la cadena de custodia llenada, fueron llevados para que se puedan realizar los análisis de metales disueltos en el laboratorio SGS.

Finalmente se recolectó aproximadamente 8 litros de drenaje ácido de mina en 1 galón de 8 litros de capacidad, con el cual se realizó el tratamiento de bioadsorción.

3.6.3. Recolección de aceituna (*Olea europaea*)

Se adquirió 1000 g de aceituna (*Olea europaea*) en los puestos del mercado Central ubicado en Cajamarca, donde se obtuvo los gramos de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), ya que

representa el 20% del peso total de la aceituna (*Olea europaea*) que se utilizaron para realizar las pruebas experimentales.

Procedimientos en laboratorio

Los siguientes procedimientos y pruebas de experimentación se realizaron en el laboratorio (empresa Innodewel), mientras que los análisis de metales disueltos del drenaje minero fueron elaborados por el laboratorio SGS.

3.6.4. Lavado y secado de materiales de laboratorio

Para el proceso de lavado y secado de materiales de laboratorio se tomó como referencia el procedimiento realizado por Serquén (2020).

Se realizó el lavado de los materiales de laboratorio que se utilizaran en la experimentación con abundante agua de grifo, detergente y la ayuda de una escobilla para retirar los residuos, después se realizó el reguaje con agua destilada. Posterior a ello se realizó el secado de los materiales a temperatura ambiente colocando sobre toallas de papel con el objetivo de eliminar toda humedad presente en los materiales de laboratorio.

3.6.5. Acondicionamiento del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*)

Para acondicionar el bioadsorbente se seguirán los procedimientos basados en las investigaciones realizadas por Palomares (2021) y Cahuasquí (2016).

- Se extrajo los endocarpios presentes en las aceitunas (*Olea europaea*).
- Los endocarpios obtenidos se lavaron con abundante agua para dejarlos libres de la pulpa de aceituna (*Olea europaea*) y de otras impurezas, luego se procedió a secarlas en el horno a temperaturas de 105°C para poder obtener una masa de peso constante para eliminar el contenido de humedad.

- Posteriormente, el endocarpio seco fue triturado en el molino manual para granos, hasta volverlos en partículas más pequeñas y así obtener una superficie de contacto mayor para la bioadsorción del cadmio (II) y arsénico (V).
- Seguidamente el endocarpio fue tamizado en una malla N° 60 para obtener partículas más finas de 250 μm , útiles para la bioadsorción.
- Finamente se midió 90 g de endocarpio pulverizado en la balanza, que son necesarios para la dosificación de las pruebas experimentales.

3.6.6. Pruebas experimentales

Para el proceso experimental se tomarán como referencias los procedimientos realizados por Muñoz (2007) y Marmanillo y Taboada (2019).

- Primero se extrajo 2.5 litros del drenaje minero distribuidos en 4 beaker de 500 ml.
- Después se midió en la balanza analítica 4 pesos diferentes de endocarpio pulverizado: 4 g, 6 g, 8 g y 10 g, a partir de los 90 g tamizados anteriormente.
- Luego se agregó los 4 pesos de endocarpio pulverizado a los 4 beaker con muestra de drenaje ácido de mina.
- La interacción se realizó en un equipo de prueba de jarras, con 200 RPM de velocidad de agitación, 90 min de tiempo de agitación y a T° ambiental.
- Luego se dejó reposar las pruebas durante 60 minutos con la finalidad de que todas las partículas en suspensión puedan alcanzar la sedimentación, posteriormente, se extrajo el agua clarificada con pipeta de 10 ml y se vació en los frascos entregados por SGS para su respectivo análisis (laboratorio SGS).

- Finalmente, el procedimiento realizado anteriormente se aplicó para las dos réplicas restantes. Por otro lado, contando con las dos muestras iniciales de caracterización del DAM (MD0-001 y MD0-002), se obtuvo un total de 14 muestras tal como lo indica la tabla 10.

Tabla 10

Diseño Experimental de la Investigación.

N°	Código	Ensayo	Peso del endocarpio (g)	Volumen de la muestra (mL)	Velocidad de agitación (RPM)	Tiempo de agitación (min)
1	MD0-001	Réplica 1	0	0	0	0
2	MD0-002	Réplica 2	0	0	0	0
3	MD1-001	Réplica 1	4	500	200	90
4	MD2-001	Réplica 1	6	500	200	90
5	MD3-001	Réplica 1	8	500	200	90
6	MD4-001	Réplica 1	10	500	200	90
7	MD1-002	Réplica 2	4	500	200	90
8	MD2-002	Réplica 2	6	500	200	90
9	MD3-002	Réplica 2	8	500	200	90
10	MD4-002	Réplica 2	10	500	200	90
11	MD1-003	Réplica 3	4	500	200	90
12	MD2-003	Réplica 3	6	500	200	90
13	MD3-003	Réplica 3	8	500	200	90
14	MD4-003	Réplica 3	10	500	200	90

Nota. El código MD significa Metales disueltos. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, para la Figura 8 representamos de forma gráfica la prueba o método de jarras empleado para la bioadsorción del cadmio (II) y arsénico (V) con endocarpio.

Figura 8

Aplicación del Método o Prueba de Jarras.



Nota. En esta figura se visualiza la representación gráfica del método de jarras que se aplicó en la investigación para los diferentes tipos de peso del bioadsorbente (4, 6, 8 y 10 g), con 200 RPM de velocidad, asimismo, con 90 min de tiempo de agitación y con 500 ml de drenaje de mina por cada jarra. Fuente: Elaboración propia.

3.6.7. Análisis de muestras tratadas

Las muestras tratadas con las diferentes dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) fueron analizadas por el laboratorio acreditado SGS siguiendo sus procedimientos. En la siguiente tabla se muestra el método de ensayo aplicado por el laboratorio SGS para el análisis de metales disueltos.

Tabla 11

Método de Ensayo para el Análisis de Metales Disueltos.

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo
Metales Disueltos	mg/L	EPA 200.8, Rev 5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.

Nota. Se visualiza el método de ensayo que se aplicó en la tabla, para realizar el análisis de metales disueltos aplicado por SGS. Adaptado de Method 200.8: Determination of Trace Elements in

Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry, Revisión 5.4. Cincinnati, OH, por U.S. EPA, 1994.

3.7. Análisis de Datos

Se empleó el software MINITAB para realizar el análisis estadístico y comprobación de hipótesis. También se aplicó Microsoft Excel como programa para elaborar figuras y tablas, por último, para el procesamiento, organización y ordenamiento de información obtenida se utilizó Microsoft Word.

3.7.1. Análisis estadístico

- El análisis estadístico de los datos o concentraciones obtenidas se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con la finalidad de saber si dichas concentraciones tuvieron una distribución normal o no, y por consiguiente saber si pertenecen al grupo de pruebas paramétricas o no paramétricas.
- Se obtuvo una distribución normal de los datos, por ello se aplicó la prueba paramétrica ANOVA (análisis de la varianza), con el objetivo de demostrar si las concentraciones halladas mantienen una igualdad o varían con el tratamiento de bioadsorción.
- Luego se continuó aplicando la prueba de Tukey o también llamada diferencia significativa honesta (DFH), con el objetivo de comparar las medias de las concentraciones.

3.7.2. Desarrollo de equilibrio de adsorción

- Se halló la capacidad máxima de bioadsorción de los tratamientos tanto para el cadmio como para el arsénico.
- Luego se desarrolló las isotermas de Freundlich y de Langmuir.
- Luego se linealizó y realizó el ajuste de los datos experimentales tanto para el cadmio como para el arsénico.

- Se comparó los valores de correlación (R^2) de las isothermas de Langmuir y Freundlich y el que se aproximó a 1, fue el que mejor representó el proceso de bioadsorción. Este procedimiento se realiza con el objetivo de identificar el tipo de mecanismo (adsorción física o química) por el cual los iones de cadmio y arsénico se unen a la superficie del material orgánico.

3.7.3. Determinación de la eficacia o porcentaje de remoción

Para obtener la eficacia de remoción para el cadmio y arsénico, se aplicó la ecuación 13.

Ecuación 13

Porcentaje de Remoción.

$$\%R = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} * 100$$

Donde:

- %R: Porcentaje de remoción.
- C_o : concentración inicial del cadmio o arsénico mg/l.
- C_f : Concentración final del cadmio o arsénico mg/l.

3.7.4. Comparación con los límites máximos permisibles

Se comparó los valores de las concentraciones obtenidas de cadmio (II) y arsénico (V) con los límites máximos permisibles, estipulados en el DS-2010-MINAM.

IV. RESULTADOS

El drenaje ácido de mina en estudio presenta diversos metales, entre ellos el cadmio y arsénico, también contiene un pH de acidez baja, como se indica en la tabla 12

Tabla 12

Caracterización del drenaje ácido de mina.

Código	Concentración de Cadmio en mg/L	Concentración de Arsénico en mg/L	pH	Temperatura
MD0-001	1.91838	4.28712	4.93	21.3
MD0-002	1.48817	5.16524	5.09	21.3
Promedio	1.70328	4.72618	5.01	21.3

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12 se colocó las concentraciones iniciales producto de la caracterización del DAM, así pues, se entiende que el promedio de las concentraciones de cadmio es 1.70328 mg/L y el promedio de las concentraciones de arsénico es 4.72618 mg/L, estos metales sobrepasan los límites máximos permisibles, ya que para el cadmio y arsénico los límites máximos en mg/L son 0.05 y 0.1 respectivamente. En cuanto al pH se obtuvo un valor promedio de 5.01, el cual no cumple el límite máximo permisible ya que no se encuentra entre los valores de 6 y 9.

Se presenta en la tabla 13 los resultados del análisis de metales disueltos para las concentraciones de cadmio y arsénico después de los tratamientos con las dosis de endocarpio.

Tabla 13

Resultados de las concentraciones de cadmio (II) y arsénico (V) después del tratamiento de bioadsorción.

Tratamiento (códigos)	Dosis endocarpio (gramos)	Concentración de Cadmio (II) en mg/L	Concentración de Arsénico (V) en mg/L
MD1-001	4	1.26845	2.87125
MD1-002	4	1.54253	2.38742
MD1-003	4	1.31486	2.61558
MD2-001	6	1.42457	1.63112
MD2-002	6	1.02194	1.79428
MD2-003	6	1.33721	2.01513
MD3-001	8	1.07685	0.97875
MD3-002	8	1.29941	1.25521
MD3-003	8	1.17502	1.44365
MD4-001	10	1.00271	1.16463
MD4-002	10	0.98448	0.94152
MD4-003	10	1.05163	0.91014

4.1. Análisis estadístico para el cadmio

Para poder analizar estadísticamente los datos, se calculó el promedio de las concentraciones para cada dosis empleada de endocarpio en el tratamiento de bioadsorción, tal y como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 14

Promedio de las concentraciones de cadmio (II) y arsénico (V).

Tratamiento (códigos)	Dosis endocarpio (gramos)	Promedio de las concentraciones de Cadmio (II) (mg/L)	Promedio de las concentraciones de Arsénico (V) (mg/L)
MD0	0	1.70328	4.72618
MD1	4	1.37528	2.62475
MD2	6	1.26124	1.81351
MD3	8	1.18376	1.22587
MD4	10	1.01294	1.00543

4.1.1. Prueba de Normalidad

La prueba de normalidad o también llamada prueba de Shapiro-Wilk, se aplicó con la finalidad de saber si las concentraciones de cadmio obtenidas en cada tratamiento tienen una distribución normal o no, y por consiguiente saber si pertenecen al grupo de pruebas paramétricas o no paramétricas.

Basándonos en las concentraciones de cadmio como los datos a analizar, se planteó las siguientes hipótesis estadísticas con un nivel de significancia del 5% y un nivel de confianza del 95%.

Hipótesis nula (H_0): los datos tienen una distribución normal.

Hipótesis alterna (H_A): los datos no tienen una distribución normal.

Condición:

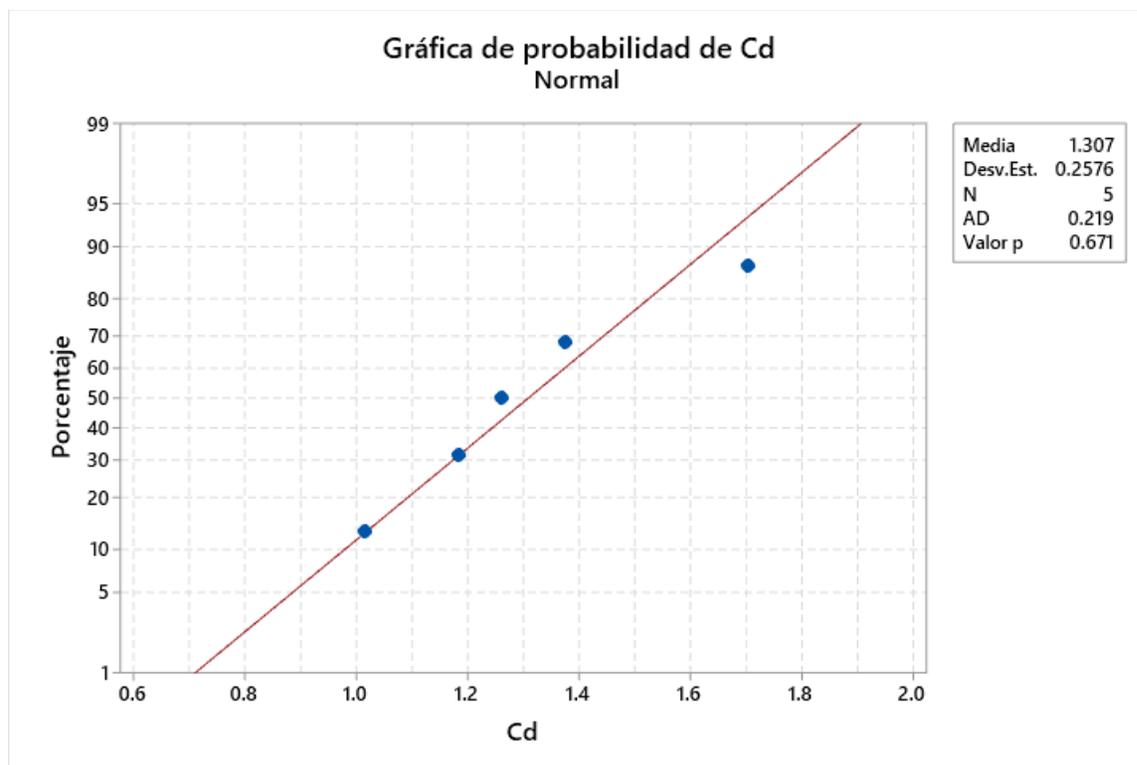
Si: $p < 0.05$; rechazar H_0

$p \geq 0.05$, aceptar H_0

A continuación, se indica la distribución de los datos o promedios concentraciones de cadmio, se presentan en la figura 9.

Figura 9

Gráfica de la prueba de normalidad para el Cadmio.



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019.

En la siguiente tabla 15 se presenta el valor de p para el cadmio.

Tabla 15

Valor de p en la prueba de normalidad para el cadmio.

Variables	Valor p
Cadmio (mg/L)	0.671

De acuerdo con el análisis de la normalidad para las concentraciones de cadmio, la siguiente hipótesis nula es aceptada (H_0): “La distribución de los datos es normal”, ya que en la

tabla 15 visualizamos que el valor p es mayor al nivel de significancia (0.05), es decir, $0.671 > 0.05$, corroborando que la hipótesis alterna no es aceptada; esto significa que las concentraciones de cadmio tienen una distribución normal o se alinea a una curva gaussiana (figura 9). Por lo tanto, se aplica una prueba paramétrica para la comparación de datos.

4.1.2. Prueba Estadística: ANOVA

Para poder aplicar la presente prueba estadística, antes establecemos las siguientes hipótesis estadísticas (H_0 y H_A) con el fin de comprobar si existe diferencia significativa o no de los tratamientos, a un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) y un nivel de confianza del 95 %.

H_0 (Hipótesis nula): Todas las medias son iguales.

H_A (Hipótesis alterna): No todas las medias son iguales.

Condición:

Si: $p < 0.05$; rechazar H_0

$p \geq 0.05$, aceptar H_0

En la siguiente tabla 16 se presenta los 5 niveles y sus respectivos tratamientos (MD0; MD1; MD2; MD3; MD4).

Tabla 16

Información del factor y niveles en el tratamiento del cadmio.

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	5	MD0; MD1; MD2; MD3; MD4

Los datos obtenidos al aplicar la prueba estadística ANOVA de un solo factor (un solo factor quiere decir que solo existe una variable dependiente y otra independiente), se presentan en la tabla 17, en función de las dosis de endocarpio y la concentración de cadmio, en la cual

obtuvimos el valor de p (si fuesen más factores, entonces obtendríamos más de un valor p), que nos será útil para aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0), también obtuvimos el valor crítico de Tukey que nos servirá para realizar la comparación de medias en las pruebas de Tukey.

Tabla 17

Análisis de varianza (ANOVA) en el tratamiento del Cadmio.

Fuente	GL (grado de libertad)	Suma de cuadrados (SC) Ajust.	Media de los cuadrados (MD) Ajust.	Valor F	Valor p	Valor crítico de Tukey
Tratamiento	4	0.6284	0.15709	5.60	0.015	0.45996
Error	9	0.2526	0.02806			
Total	13	0.8809				

Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019.

De acuerdo con la prueba estadística ANOVA, el valor de p es igual a 0.015, tal como se indica en la tabla 17, esto quiere decir que el valor de p (0.015) es menor al nivel de significancia (0.05), rechazando la H_0 (Hipótesis nula) y por lo tanto aceptamos la H_A (Hipótesis alterna): “*No todas las medias son iguales*”, esto quiere decir que las medias de las concentraciones no mantienen semejanza o no son iguales, ya que van variando significativamente conforme se va añadiendo más dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*); concluyendo que existe un efecto o influencia de las 4 dosis de endocarpio (4, 6, 8 y 10 g) en la concentración de cadmio del DAM, es decir, va disminuyendo su concentración conforme se va agregando las dosis de endocarpio.

4.1.3. Prueba de Tukey

La prueba de Tukey llamada también prueba de medias, es aquella prueba en donde se realiza la comparación de medias con el objetivo de evaluar si hay igualdad o diferencias entre

ellas. En la tabla 18 se indican los diferentes tratamientos, dosis de endocarpio y los promedios o medias de las concentraciones de cadmio (II).

Tabla 18

Medias de las concentraciones de cadmio (II).

Tratamiento (códigos)	Dosis endocarpio (gramos)	Medias de las concentraciones de Cadmio (mg/L)
MD0	0	1.70328
MD1	4	1.37528
MD2	6	1.26124
MD3	8	1.18376
MD4	10	1.01294

Para poder comparar las medias y agruparlas, primero se calcula la diferencia de medias de cada tratamiento. Luego el valor de esta diferencia (no se considera el signo) se compara con el valor crítico de Tukey, en el cual, si la diferencia es menor al valor crítico de Tukey, entonces la comparación de las medias de los tratamientos son idénticas, mientras que, si la diferencia es mayor al valor crítico de Tukey, entonces las medias de los tratamientos comparados son diferentes. Para una mejor comprensión, la siguiente tabla 19 se muestra el procedimiento explicado anteriormente.

Tabla 19

Procedimiento para comparar las medias de las concentraciones de cadmio.

Comparación de tratamientos	Diferencias de medias	Comparación con el Valor crítico de Tukey (0.45996)	Comparación de medias
MD1 – MD0	- 0.3277	<	$\overline{MD1} = \overline{MD0}$
MD2 – MD0	- 0.4420	<	$\overline{MD2} = \overline{MD0}$
MD3 – MD0	- 0.5192	>	$\overline{MD3} \neq \overline{MD0}$
MD4 – MD0	- 0.6901	>	$\overline{MD4} \neq \overline{MD0}$
MD2 - MD1	- 0.1143	<	$\overline{MD2} = \overline{MD1}$
MD3 - MD1	- 0.1915	<	$\overline{MD3} = \overline{MD1}$
MD4 - MD1	- 0.3624	<	$\overline{MD4} = \overline{MD1}$
MD3 - MD2	- 0.0772	<	$\overline{MD3} = \overline{MD2}$
MD4 - MD2	- 0.2481	<	$\overline{MD4} = \overline{MD2}$
MD4 - MD3	- 0.1709	<	$\overline{MD4} = \overline{MD3}$

En la tabla 20 se muestra las comparaciones en pareja de Tukey para las medias de los tratamientos, y a la vez se agruparán las medias de acuerdo con el resultado obtenido en la tabla 19.

Tabla 20

Comparaciones en parejas de Tukey para las medias de las concentraciones de Cadmio.

Tratamiento - Dosis (g)	N	Media	Agrupación	
MD0 - 0	2	1.703	A	
MD1 - 4	3	1.3753	A	B
MD2 - 6	3	1.261	A	B
MD3 - 8	3	1.1838	B	
MD4 - 10	3	1.0129	B	

Nota: las medias con diferencia significativa son aquellas que solo tienen una letra. Elaborado en MINITAB.

De manera general para las comparaciones en pareja de Tukey, se entiende que las medias comparten mínimo una letra no se diferencia mucho, por el contrario, existe diferencia significativa entre aquellas medias que no comparten letras.

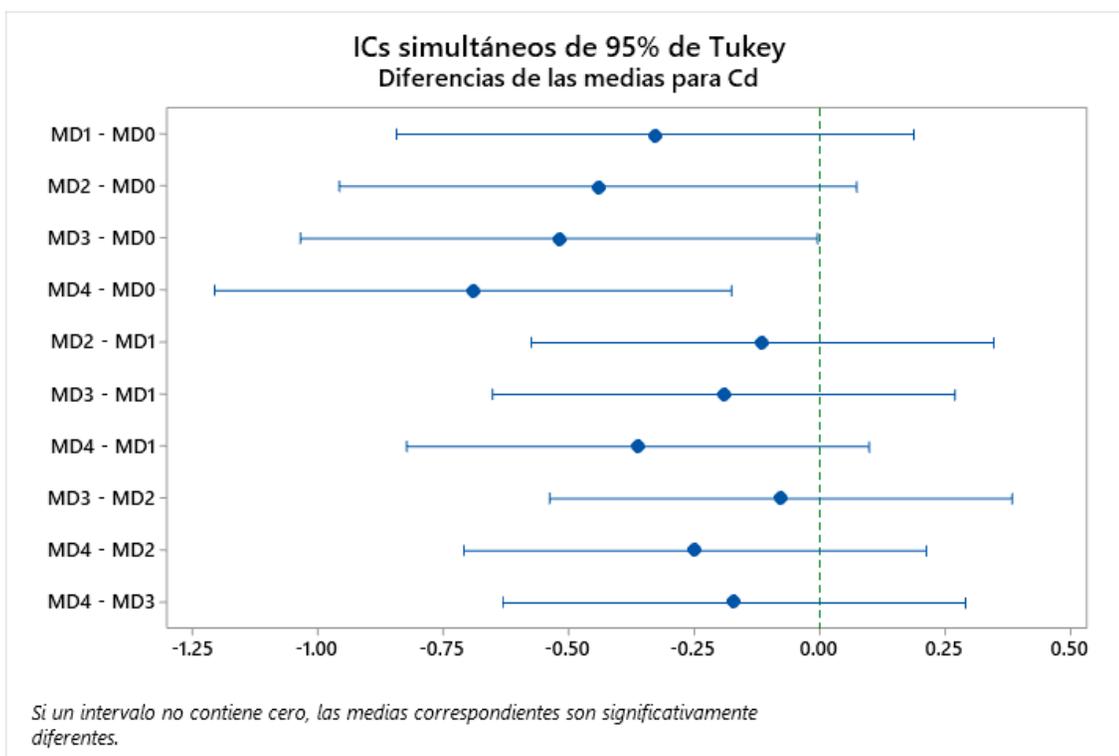
Entonces interpretando nuestros datos conseguidos en la tabla 20, se visualiza que el endocarpio ha reducido la concentración de cadmio, dado que, la concentración más baja es de 1.0129 mg/L. No obstante, también se visualiza que existen dos agrupaciones A y B; el primer grupo A, indica que la dosis de 4 y 6 g se asemeja o mantienen una igualdad con respecto a la concentración inicial (MD0-0), es decir, no tienen efecto significativo. Para el segundo grupo B existe una diferencia significativa, especialmente para las dosis de 8 y 10 g de endocarpio, presentando concentraciones de cadmio menores a la inicial.

En la siguiente figura 10 nos muestra los intervalos de confianza (ICs) simultáneos de 95%, en el cual nos indica las diferencias de las medias de los grupos A y B. El criterio para poder evaluar dichos intervalos es el siguiente: “Los intervalos de las medias que contengan cero son

iguales, mientras los que son significativamente diferentes son aquellos intervalos que no contienen cero”.

Figura 10

Comparaciones en parejas de Tukey mediante intervalos de confianza (ICs) para las medias de las concentraciones de Cadmio.



Nota: Elaborado en MINITAB.

Así pues, visualizamos la diferencia de medias de las concentraciones de cadmio que existe para los tratamientos MD3 y MD4 en la figura 10. Por consiguiente, interpretando dicha figura, mencionamos que el endocarpio tiene mayor efecto a dosis de 8 y 10 gramos reduciendo la concentración de cadmio a 1.1838 y 1.0129 mg/L respectivamente, y no presenta efectos significativos a dosis de 4 y 6 gramos.

4.2. Análisis estadístico para el arsénico

4.2.1. Prueba de Normalidad

La prueba de normalidad o también llamada prueba de Shapiro-Wilk, se aplicó con la finalidad de saber si las concentraciones de arsénico obtenidas en cada tratamiento tienen una distribución normal o no, y por consiguiente saber si pertenecen al grupo de pruebas paramétricas o no paramétricas.

Basándonos en las concentraciones de arsénico como los datos a analizar, se planteó las siguientes hipótesis estadísticas con un nivel de significancia del 5% y un nivel de confianza del 95%.

Hipótesis nula (H_0): **los datos tienen una distribución normal.**

Hipótesis alterna (H_A): **los datos no tienen una distribución normal.**

Condición:

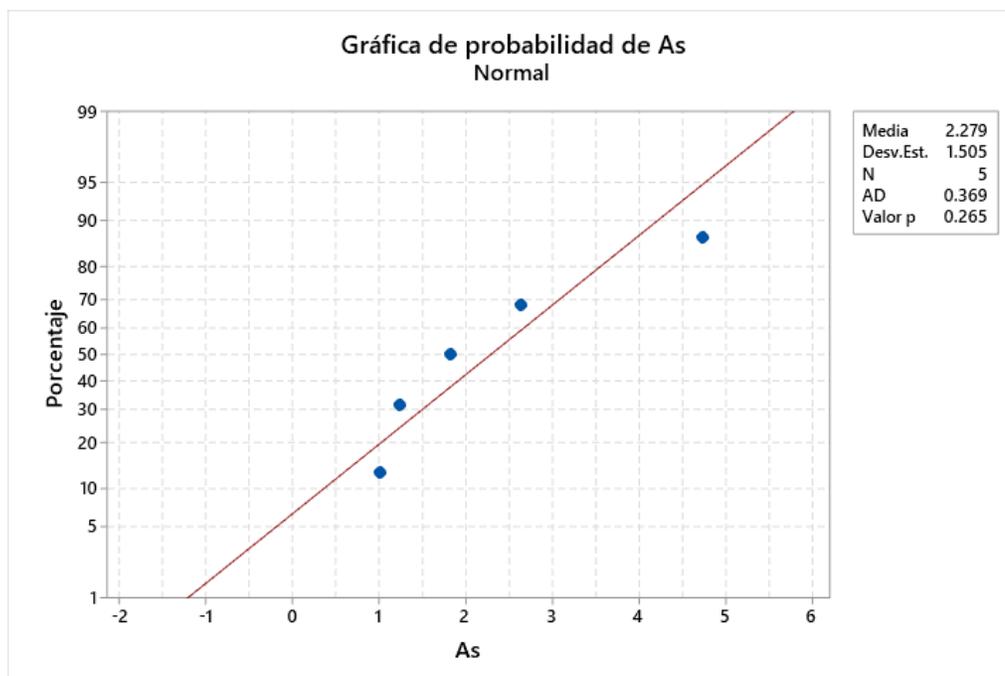
Si: $p < 0.05$; rechazar H_0

$p \geq 0.05$, aceptar H_0

A continuación, se indica la distribución de los datos o promedios concentraciones de cadmio, se presentan en la figura 11.

Figura 11

Gráfica de la prueba de normalidad para el Arsénico.



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019.

En la siguiente tabla 21 se presenta el valor de p para el arsénico

Tabla 21

Valor de p en la prueba de normalidad para el arsénico.

Variables	Valor p
Arsénico (mg/L)	0.265

De acuerdo con el análisis de la normalidad para las concentraciones de arsénico, la siguiente hipótesis nula es aceptada (H_0): “*La distribución de los datos es normal*”, ya que en la tabla 21 visualizamos que el valor p es mayor al nivel de significancia (0.05), es decir, $0.265 > 0.05$, corroborando que la hipótesis alterna no es aceptada; esto significa que las concentraciones

de cadmio tienen una distribución normal o se alinea a una curva gaussiana (figura 11). Por lo tanto, se aplica una prueba paramétrica para la comparación de datos.

4.2.2. Prueba Estadística: ANOVA

Para poder aplicar la presente prueba estadística, antes establecemos las siguientes hipótesis estadísticas (H_0 y H_A) con el fin de comprobar si existe diferencia significativa o no de los tratamientos, a un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) y un nivel de confianza del 95 %.

H_0 (Hipótesis nula): Todas las medias son iguales.

H_A (Hipótesis alterna): No todas las medias son iguales.

Condición:

Si: $p < 0.05$; rechazar H_0

$p \geq 0.05$, aceptar H_0

En la siguiente tabla 22 se presenta los 5 niveles y sus respectivos tratamientos (MD0; MD1; MD2; MD3; MD4).

Tabla 22

Información del factor y niveles en el tratamiento del arsénico.

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	5	MD0; MD1; MD2; MD3; MD4

Los datos obtenidos al aplicar la prueba estadística ANOVA de un solo factor (un solo factor quiere decir que solo existe una variable dependiente y otra independiente), se presentan en la tabla 23, en función de las dosis de endocarpio y la concentración de arsénico, en la cual obtuvimos el valor de p (si fuesen más factores, entonces obtendríamos más de un valor p), que nos será útil para aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0), también obtuvimos el valor crítico de Tukey que nos servirá para realizar la comparación de medias en las pruebas de Tukey.

Tabla 23

Análisis de varianza (ANOVA) para el tratamiento de Arsénico.

Fuente	GL (grado de libertad)	Suma de cuadrados (SC) Ajust.	Media de los cuadrados (MD) Ajust.	Valor F	Valor p	Valor crítico de Tukey
Tratamiento	4	20.7523	5.18806	64.41	0.000	0.77926
Error	9	0.7249	0.08054			
Total	13	21.4771				

Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019.

De acuerdo con la prueba estadística ANOVA, el valor de p es igual a 0, tal como se indica en la tabla 23, esto quiere decir que el valor de p (0) es menor al nivel de significancia (0.05), rechazando la H_0 (Hipótesis nula) y por lo tanto aceptamos la H_A (Hipótesis alterna): “*No todas las medias son iguales*”, esto quiere decir que las medias de las concentraciones no mantienen semejanza o no son iguales, ya que van variando significativamente conforme se va añadiendo más dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*); concluyendo que existe un efecto o influencia de las 4 dosis de endocarpio (4, 6, 8 y 10 g) en la concentración de arsénico del DAM, es decir, va disminuyendo su concentración conforme se va agregando las dosis de endocarpio.

4.2.3. Prueba de Tukey

La prueba de Tukey llamada también prueba de medias, es aquella prueba en donde se realiza la comparación de medias con el objetivo de evaluar si hay igualdad o diferencias entre ellas. En la tabla 24 se presentan los diferentes tratamientos, dosis de endocarpio y los promedios o medias de las concentraciones de arsénico.

Tabla 24

Medias de las concentraciones de arsénico (V).

Tratamiento (códigos)	Dosis endocarpio (gramos)	Media de las concentraciones de Arsénico (mg/L)
MD0	0	4.72618
MD1	4	2.62475
MD2	6	1.81351
MD3	8	1.22587
MD4	10	1.00543

Para poder comparar las medias y agruparlas, primero se calcula la diferencia de medias de cada tratamiento. Luego el valor de esta diferencia (no se considera el signo) se compara con el valor crítico de Tukey, en el cual, si la diferencia es menor al valor crítico de Tukey, entonces la comparación de las medias de los tratamientos son idénticas, mientras que, si la diferencia es mayor al valor crítico de Tukey, entonces las medias de los tratamientos comparados son diferentes. Para una mejor comprensión, la siguiente tabla 25 se muestra el procedimiento explicado anteriormente.

Tabla 25

Procedimiento para comparar las medias de las concentraciones de arsénico.

Comparación de tratamientos	Diferencias de medias	Comparación con el Valor crítico de Tukey (0.77926)	Comparación de medias
MD1 – MD0	- 2.101	>	$\overline{MD1} \neq \overline{MD0}$
MD2 – MD0	- 2.912	>	$\overline{MD2} \neq \overline{MD0}$
MD3 – MD0	- 3.500	>	$\overline{MD3} \neq \overline{MD0}$
MD4 – MD0	- 3.7206	>	$\overline{MD4} \neq \overline{MD0}$
MD2 - MD1	- 0.811	>	$\overline{MD2} \neq \overline{MD1}$
MD3 - MD1	- 1.399	>	$\overline{MD3} \neq \overline{MD1}$
MD4 - MD1	- 1.6196	>	$\overline{MD4} \neq \overline{MD1}$
MD3 - MD2	- 0.588	<	$\overline{MD3} = \overline{MD2}$
MD4 - MD2	- 0.8086	>	$\overline{MD4} \neq \overline{MD2}$
MD4 - MD3	- 0.2206	<	$\overline{MD4} = \overline{MD3}$

En la tabla 26 se muestra las comparaciones en pareja de Tukey para las medias de los tratamientos, y a la vez se muestra la agrupación de las medias de acuerdo con el resultado obtenido en la tabla 25.

Tabla 26

Comparaciones en parejas de Tukey para las medias de las concentraciones de Arsénico.

Tratamiento - Dosis (g)	N	Media	Agrupación
MD0 - 0	2	4.72618	A
MD1 - 4	3	2.62475	B
MD2 - 6	3	1.81351	C
MD3 - 8	3	1.22587	C D
MD4 - 10	3	1.00543	D

Nota: las medias con diferencia significativa son aquellas que solo tienen una letra. Elaborado en MINITAB.

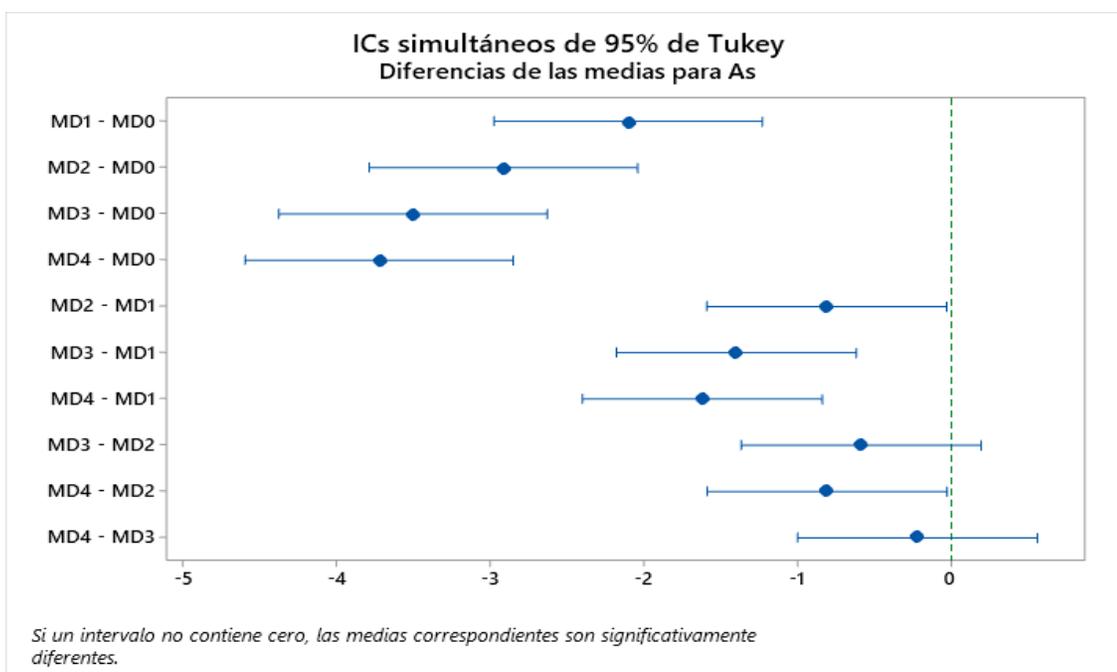
De manera general para las comparaciones en pareja de Tukey, se entiende que las medias comparten mínimo una letra no se diferencia mucho, por el contrario, existe diferencia significativa entre aquellas medias que no comparten letras.

Entonces interpretando nuestros resultados obtenidos en la según la tabla 26, se visualiza que el endocarpio ha reducido la concentración de arsénico, dado que, la concentración más baja es de 1.00543 mg/L. No obstante, también se visualiza que existen cuatro agrupaciones A, B, C y D, lo que se deduce que existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. El primer grupo A, indica la concentración inicial de arsénico del DAM (4.72618 mg/L); el grupo B, muestra el efecto de la dosis de 4 g de endocarpio en la concentración de arsénico a un valor de 2.62475 mg/L es decir lo reduce; el otro grupo C, el endocarpio a dosis de 6 a 8 g reduce la concentración a un rango de 1.81351 a 1.22587 mg/L; el último grupo D, está conformado por dosis de 8 y 10 g, con una concentración de arsénico de 1.22587 y 1.00543 mg/L, lo que significa, que se está alcanzando un estado de equilibrio, ya que, la diferencia es de 0.22 mg/L.

En la siguiente figura 12 nos muestra los intervalos de confianza (ICs) simultáneos de 95%, en el cual nos indica las diferencias de las medias de los grupos A, B, C y D. El criterio para poder evaluar dichos intervalos es el siguiente: “Los intervalos de las medias que contengan cero son iguales, mientras los que son significativamente diferentes son aquellos intervalos que no contienen cero”.

Figura 12

Comparaciones en parejas de Tukey mediante intervalos de confianza (ICs) para las medias de las concentraciones de Arsénico.



Nota: Elaborado en MINITAB.

Así pues, visualizamos una igualdad de medias para los tratamientos MD2 y MD3, así como también para las medias MD3 y MD4 en la figura 12, ya que sus intervalos respectivos contienen al cero. Para el resto de los tratamientos hay diferencia significativa entre sus medias ya que sus intervalos respectivos no contienen al cero. En consecuencia, afirmamos que el endocarpio

tiene efecto en la concentración de arsénico cuando se aplican las 4 dosis (4, 6, 8 y 10 g), pero evidenciamos un mayor efecto a dosis de 10 gramos, reduciendo la concentración de arsénico de 4.72618 a 1.00543 mg/L.

4.3. Resumen del análisis estadístico

Presentaremos en la siguiente tabla 27 el resumen del análisis estadístico realizado anteriormente para los tratamientos empleados en la bioadsorción de las concentraciones de iones cadmio y arsénico.

Tabla 27

Resumen del análisis estadístico.

Pruebas Estadísticas	Cadmio	Arsénico
Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk)	De acuerdo con la distribución de los datos (concentraciones), tenemos que el valor $p = 0.671$. Entonces $p > 0.05$, por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula H_0 : “ <i>La distribución de los datos es normal</i> ”. Esto quiere decir que aplicaremos pruebas paramétricas para la comparación de datos.	De acuerdo con la distribución de los datos (concentraciones), tenemos que el valor $p = 0.265$. Entonces $p > 0.05$, por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula H_0 : “ <i>La distribución de los datos es normal</i> ”. Esto quiere decir que aplicaremos pruebas paramétricas para la comparación de datos.
Prueba estadística ANOVA	De acuerdo con la prueba estadística ANOVA, el valor de $p = 0.015$. Entonces $p < 0.05$, por lo tanto, aceptamos la hipótesis alterna H_A : “ <i>No todas las medias son iguales</i> ”. Esto quiere decir que las medias de las concentraciones no mantienen semejanza o no son iguales , ya que van variando significativamente conforme se va añadiendo más dosis de endocarpio.	De acuerdo con la prueba estadística ANOVA, el valor de $p = 0.000$. Entonces $p < 0.05$, por lo tanto, aceptamos la hipótesis alterna H_A : “ <i>No todas las medias son iguales</i> ”. Esto quiere decir que las medias de las concentraciones no mantienen semejanza o no son iguales , ya que van variando significativamente conforme se va añadiendo más dosis de endocarpio.

Prueba de Tukey	De acuerdo con la prueba de Tukey existen dos agrupaciones A y B : La agrupación A representa a las concentraciones obtenidas al aplicar las dosis 4 y 6 gramos de endocarpio e indica que se asemeja a la concentración inicial (MD0-0) y la agrupación B representa a las concentraciones obtenidas al aplicar las dosis 8 y 10 g indicando que existe una diferencia significativa con la concentración inicial.	De acuerdo con la prueba de Tukey existen 4 agrupaciones A, B, C y D , de las cuales todas tienen diferencia significativa con la concentración inicial (MD0-0), existiendo mayor diferencia significativa con la agrupación D, que representa a las concentraciones obtenidas al aplicar las dosis 8 y 10 gramos de endocarpio.
-----------------	--	---

Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.4. Contrastación de la Hipótesis

En la siguiente tabla 28 se presenta la argumentación para la contratación de la hipótesis

Tabla 28

Contrastación de la Hipótesis.

HIPÓTESIS GENERAL	ARGUMENTACIÓN	CONTRASTACIÓN
La aplicación del endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) como bioadsorbente reduce la concentración de cadmio (II) y arsénico (V) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto - Algamarca.	De acuerdo con los análisis estadísticos realizados, existe diferencia entre las concentraciones obtenidas de cadmio (II) y arsénico (V) cuando se aplican las 4 dosis (4, 6, 8 y 10 gramos) de endocarpio al drenaje ácido de mina, con respecto sus concentraciones iniciales. Concluyendo que el endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) aplicado como bioadsorbente reduce la concentración de cadmio (II) y arsénico (V) presentes en el drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto - Algamarca.	Verdadera

Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.5. Determinación de las Isotermas de bioadsorción para el cadmio

Los modelos o isotermas se elaboraron con el objetivo de identificar a que mecanismo pertenece la bioadsorción de los iones cadmio divalentes (II), por medio de la comparación de los coeficientes de determinación (R^2) de las isotermas de Freundlich y Langmuir. Es preciso mencionar que la mejor isoterma será aquella donde su R^2 este próximo a 1; no hay que olvidar que la isoterma de Freundlich revela que el mecanismo de bioadsorción es la fisisorción y la isoterma de Langmuir indica que el mecanismo de bioadsorción es la quimisorción.

La bioadsorción se dio a un pH de 5.01, ya que fue el pH obtenido del drenaje ácido de mina, y para poder determinar las isotermas se tuvieron en cuenta las dosis o masas empleadas (4, 6, 8 y 10) en gramos de endocarpio, el volumen empleado de drenaje ácido de mina fue 0.5 L, la concentración inicial de cadmio, así como también las concentraciones obtenidas para cada dosis empleada.

4.5.1. Isoterma de Langmuir

Para poder determinar el modelo de Langmuir se tuvo en cuenta la ecuación 5, la cual indica la capacidad de bioadsorción, tal como se representa a continuación

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{M}$$

Dónde:

- C_e : Concentración final o en el equilibrio (mg/L) luego de la bioadsorción.
- q_e : Capacidad de bioadsorción en el equilibrio (mg de soluto/ g del adsorbente).
- V : Volumen de la solución (L).
- C_o : Concentración inicial (mg/L) en una disolución de volumen (L).
- M : Peso del bioadsorbente (g).

Así mismo también se tuvo en cuenta la ecuación 9, que representa matemáticamente el modelo o isoterma de Langmuir de forma linealizada, y tiene como finalidad graficar la isoterma de Langmuir y por consiguiente estimar las cantidades de K_L y q_{max} .

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * K_L * C_e} + \frac{1}{q_{max}}$$

Donde:

- q_{max} : es la capacidad o tasa máxima de retención de metal por unidad de masa de adsorbente (mg de metal/ g bioadsorbente) o también llamada capacidad máxima de bioadsorción (mg/g).
- C_e : Concentración final del ion metálico después del tratamiento o en el equilibrio (mg/L).
- q_e : Capacidad de bioadsorción en equilibrio (mg/g), es decir, indica la concentración metálica / g de bioadsorbente.
- K_L : esta constante está relacionada con la energía o intensidad de bioadsorción (L/mg), dicho en otras palabras, es la afinidad que tiene el ion metálico por los grupos funcionales del bioadsorbente, manera que un elevado valor de K_L es indicativo de una mayor afinidad, él K_L es llamado constate de Langmuir.

En la siguiente tabla 29, se presentan todos los datos necesarios para graficar la isoterma de Langmuir.

Tabla 29

Parámetros para graficar la isoterma de Langmuir para el Cadmio.

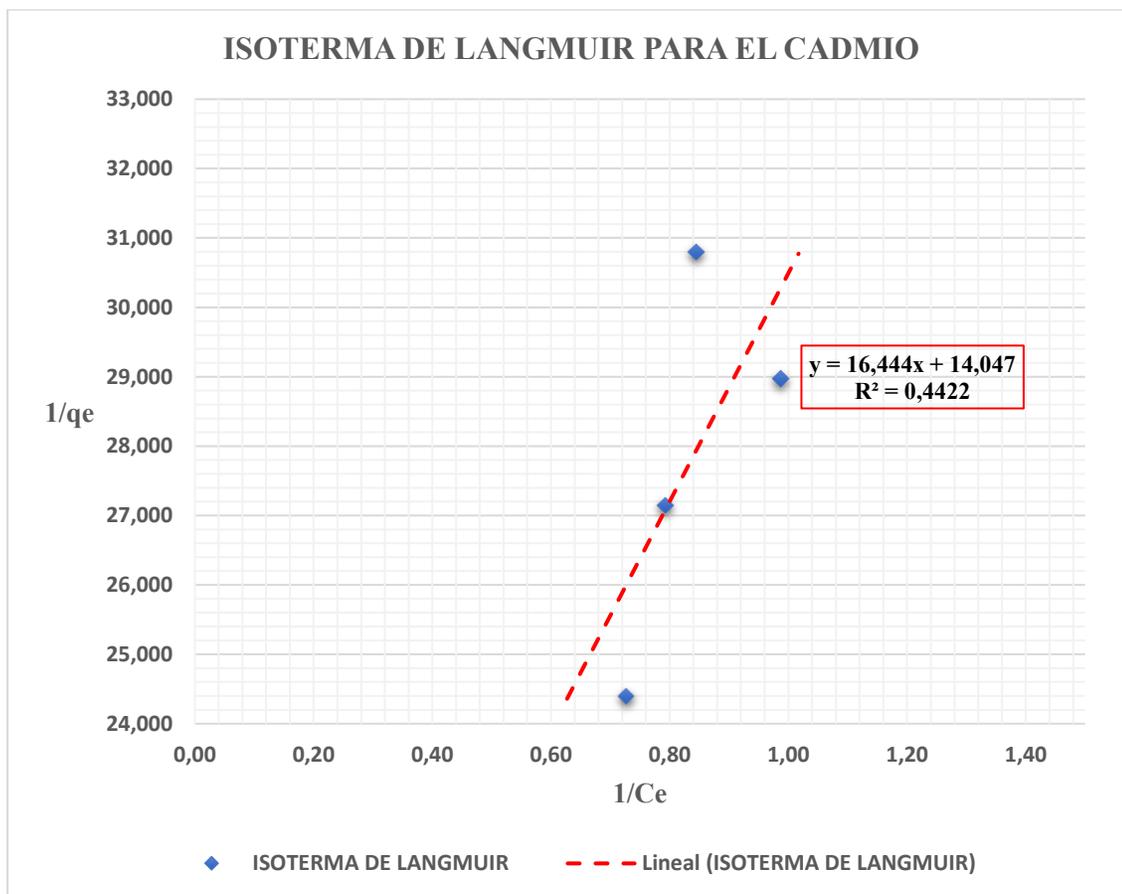
Masa (g)	Volumen (L)	C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$
4	0.5	1.703	1.375	0.041	0.727	24.391
6	0.5	1.703	1.261	0.037	0.793	27.147
8	0.5	1.703	1.184	0.032	0.845	30.798
10	0.5	1.703	1.013	0.035	0.987	28.971

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura 13 se presenta la isoterma de Langmuir para el cadmio

Figura 13

Isoterma de Langmuir para el Cadmio.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. *Isoterma de Freundlich*

Para el desarrollo de la isoterma de Freundlich se tuvo en cuenta la ecuación 5 que representa matemáticamente la capacidad de bioadsorción después del tratamiento o en el equilibrio, y la ecuación 12 que representa matemáticamente la isoterma de Freundlich en forma linealizada, y tiene como finalidad graficar la isoterma, para después calcular las constantes de K_f y n .

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} * \log C_e$$

Donde:

- q_e : Capacidad de bioadsorción en equilibrio (mg/g); es la cantidad de metal adsorbido en el equilibrio (mg/g), es decir, es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente en equilibrio (mg /g).
- n : Constante de intensidad de bioadsorción ($n > 1$); está asociado con la intensidad o fuerza de unión de adsorción del bioadsorbente.
- K_f : Constante de Freundlich (mg/g); esta constante indica el estado de equilibrio de la bioadsorción, además, relacionada a la capacidad de bioadsorción del bioadsorbente.
- C_e : Concentración final del adsorbato en el equilibrio (mg/L); es decir, es la concentración residual del metal en solución (mg/L).

A continuación, se indican los datos necesarios para graficar el modelo de Freundlich, como se indica en la tabla 30.

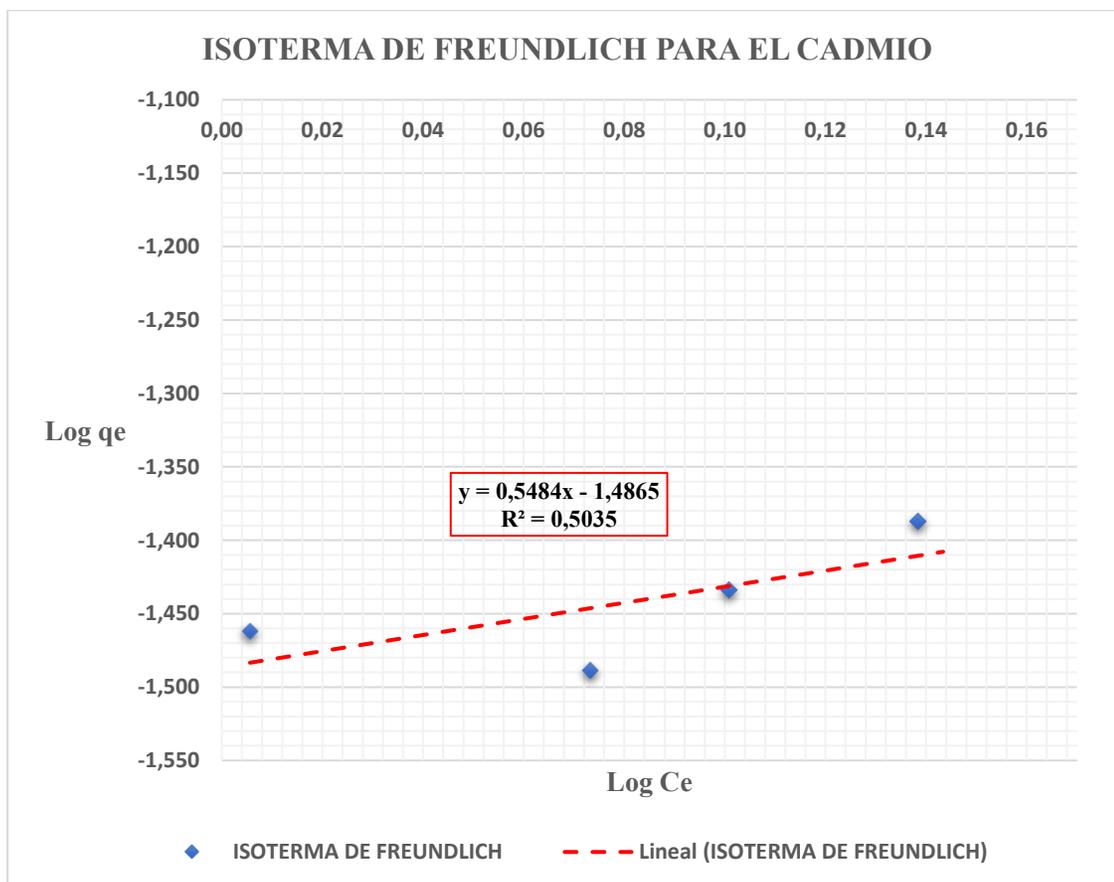
Tabla 30

Parámetros para graficar la isoterma de Freundlich para el Cadmio.

Masa (g)	Volumen (L)	C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	Log (C_e)	Log (q_e)
4	0.5	1.703	1.375	0.041	0.138	-1.387
6	0.5	1.703	1.261	0.037	0.101	-1.434
8	0.5	1.703	1.184	0.032	0.073	-1.489
10	0.5	1.703	1.013	0.035	0.006	-1.462

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la isoterma de Freundlich para el cadmio en la figura 14

Figura 14*Isoterma de Freundlich para el Cadmio.*

Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.5.3. Comparación de las isotermas

Los modelos o isotermas se elaboraron con el objetivo de identificar a que mecanismo pertenece la bioadsorción de los iones cadmio divalentes (II), por medio de la comparación de los coeficientes de determinación (R^2) de las isotermas de Freundlich y Langmuir. Es preciso mencionar que la mejor isoterma será aquella donde su R^2 este próximo a 1; no hay que olvidar que el modelo de Freundlich revela que el mecanismo de bioadsorción es la fisisorción y la isoterma de Langmuir indica que el mecanismo de bioadsorción es la quimisorción. En la siguiente tabla 31 se comparará las isotermas elaboradas anteriormente mediante su R^2 .

Tabla 31

Comparación de las isotermas para el Cadmio.

	ISOTERMA DE LANGMUIR	ISOTERMA DE FREUNDLICH
Ecuación	$y = 16.444x - 14.047$	$y = 0.5484x - 1.4865$
R^2	$R^2 = 0.4422$	$R^2 = 0.5035$

En la tabla 31 se observa que la isoterma que tiene una excelente representación de las concentraciones obtenidas experimentalmente (datos) en la bioadsorción de los iones cadmio es la Isoterma de Freundlich, ya que su $R^2 = 0.5035$, es mayor que el de la isoterma de Langmuir. Por lo tanto, se procederá a calcular n (cte de intensidad) y K_f (cte de Freundlich) a partir de la comparación de variables entre la ecuación linealizada del modelo de Freundlich (ecuación 12) y la ecuación obtenida con los datos experimentales.

$$\log q_e = \frac{1}{n} * \log C_e + \log K_f \leftrightarrow y = 0.5484x - 1.4865$$

➤ **Cálculo de la constante de intensidad de bioadsorción (n)**

$$\frac{1}{n} = 0.5484 \Rightarrow n = 1.82$$

La constante de intensidad tiene valor igual a 1.82 y es mayor a 1, cumpliendo el criterio del modelo de Freundlich y está relacionada con la fuerza o intensidad de adherencia de los iones cadmio con el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*).

➤ **Cálculo de la constante de Freundlich (K_f)**

$$\log K_f = -1.4865 \Rightarrow K_f = 0.033$$

La constante de Freundlich indica el estado de equilibrio de la bioadsorción, y a su vez también está asociado a la capacidad de bioadsorción del endocarpio.

➤ Interpretación

De acuerdo con los resultados obtenidos, las concentraciones de iones de cadmio (II) se representan mejor por el modelo de Freundlich, caracterizando la bioadsorción o repartición de los iones de manera mezclada o variada donde los iones están formando monocapas en la superficie debido a las distintas afinidades de los sitios activos del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), es decir, primero se van llenando los sitios de más afinidad con el cadmio y luego se van llenando los de menos afinidad. Adicionalmente el modelo explica que no existe asociación química de iones después de ser adsorbidos en la superficie del endocarpio, obedeciendo a fenómeno físico y sin modificaciones en la estructura de los iones. Por lo tanto, el tipo mecanismo de bioadsorción de los iones cadmio (II) es la adsorción física o fisorción, en donde los iones cadmio se unen con los grupos funcionales que se encuentran presentes en la parte externa del endocarpio mediante fuerzas electrostáticas y enlaces de Van der Waals, dichas fuerzas se caracterizan por una energía de bioadsorción mínimas o no tan intensas, concluyendo que estos iones no están adherido fuertemente a los iones de la superficie del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*).

4.6. Determinación de las Isotermas de bioadsorción para el arsénico

La bioadsorción se dio a un pH de 5.01, ya que fue el pH obtenido del drenaje ácido de mina, y para poder determinar las isotermas se tuvieron en cuenta las dosis o masas empleadas (4, 6, 8 y 10) en gramos de endocarpio, el volumen empleado de drenaje ácido de mina fue 0.5 L, la concentración inicial de arsénico, así como también las concentraciones obtenidas para cada dosis empleada.

4.6.1. Isoterma de Langmuir

Para determinar el modelo de Langmuir se tuvo en cuenta la ecuación 5, que representa matemáticamente la capacidad de bioadsorción en el equilibrio. También se tuvo en cuenta la

ecuación 9, que representa matemáticamente el modelo o isoterma de Langmuir de forma linealizada, y tiene como finalidad graficar la isoterma de Langmuir y por consiguiente estimar las cantidades de K_L y q_{max} .

En la siguiente tabla 32, se presentan todos los datos necesarios para graficar la isoterma de Langmuir

Tabla 32

Parámetros para graficar la isoterma de Langmuir para el Arsénico.

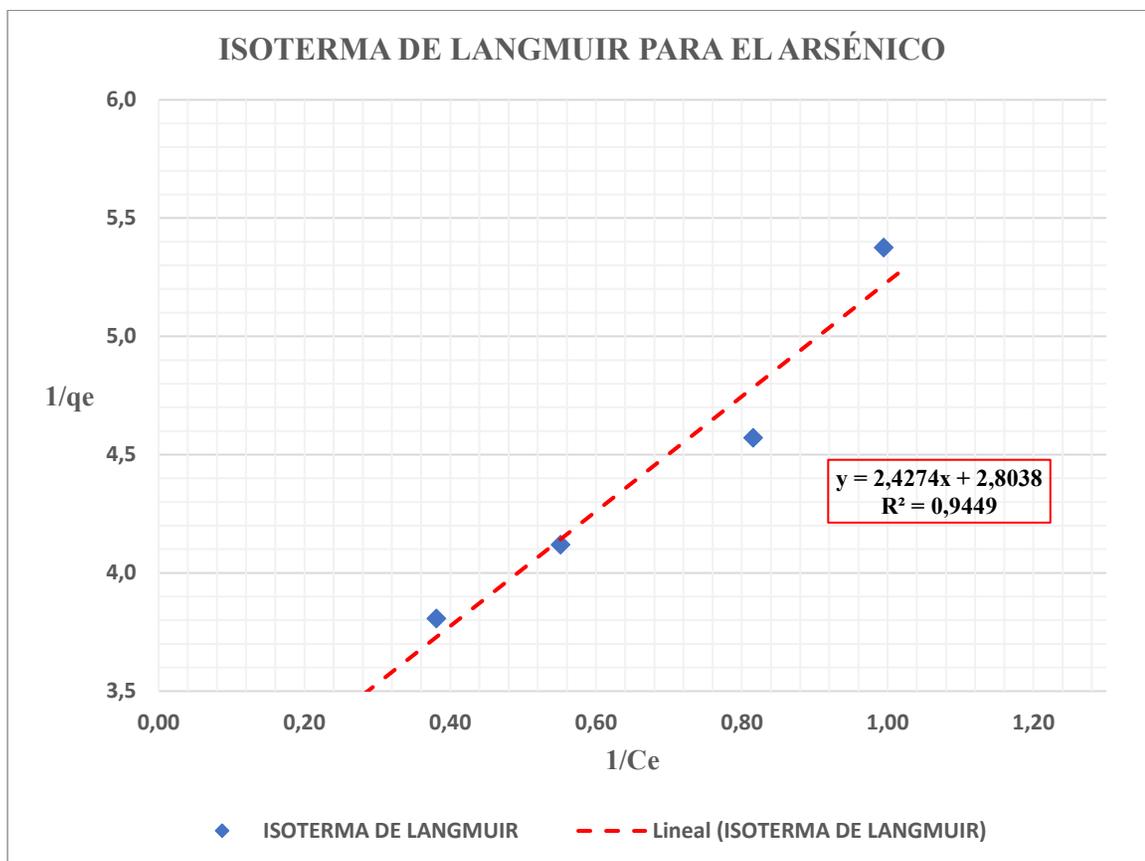
Masa (g)	Volumen (L)	C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$
4	0.5	4.726	2.625	0.263	0.381	3.807
6	0.5	4.726	1.814	0.243	0.551	4.120
8	0.5	4.726	1.226	0.219	0.816	4.571
10	0.5	4.726	1.005	0.186	0.995	5.375

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura 15 se presenta la isoterma de Langmuir para el arsénico

Figura 15

Isoterma de Langmuir para el Arsénico.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.6.2. Isoterma de Freundlich

Para el desarrollo de la isoterma de Freundlich se tuvo en cuenta la ecuación 5, que representa matemáticamente la capacidad de bioadsorción después del tratamiento o en el equilibrio y la ecuación 12, que representa matemáticamente la isoterma de Freundlich de forma linealizada, y tiene como finalidad graficar la isoterma, para después calcular las constantes de K_f y n .

A continuación, se indican los datos necesarios para graficar el modelo de Freundlich, como se indica en la tabla 33.

Tabla 33

Parámetros para graficar la isoterma de Freundlich para el Arsénico.

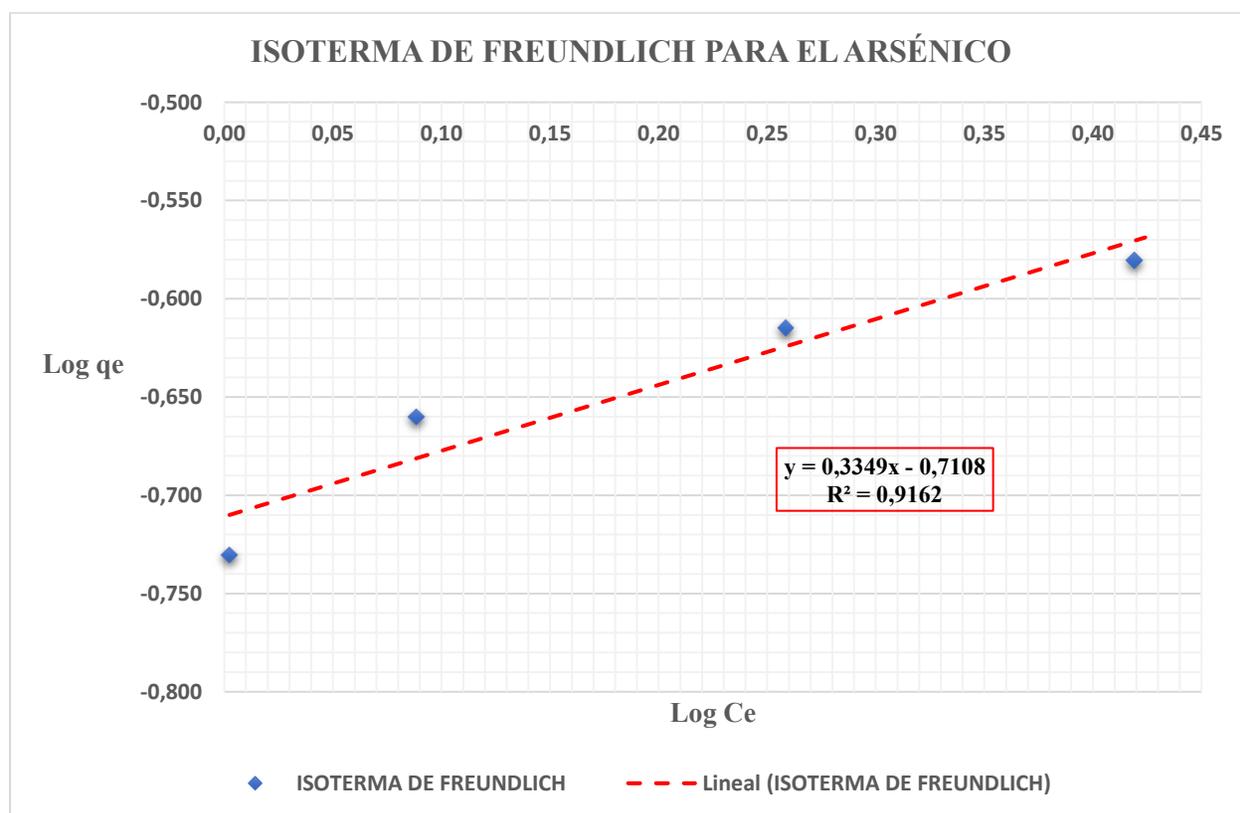
Masa (g)	Volumen (L)	C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\text{Log}(C_e)$	$\text{Log}(q_e)$
4	0.5	4.726	2.625	0.263	0.419	-0.581
6	0.5	4.726	1.814	0.243	0.259	-0.615
8	0.5	4.726	1.226	0.219	0.088	-0.660
10	0.5	4.726	1.005	0.186	0.002	-0.730

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la isoterma de Freundlich para el arsénico en la siguiente figura 16

Figura 16

Isoterma de Freundlich para el Arsénico.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.6.3. Comparación de las isotermas

Los modelos o isotermas se elaboraron con el objetivo de identificar a que mecanismo pertenece la bioadsorción de los iones arsénico, por medio de la comparación de los coeficientes de determinación (R^2) de las isotermas de Freundlich y Langmuir. Es preciso mencionar que la mejor isoterma será aquella donde su R^2 este próximo a 1; no hay que olvidar que el modelo de Freundlich revela que el mecanismo de bioadsorción es la fisorción y la isoterma de Langmuir indica que el mecanismo de bioadsorción es la quimisorción. En la siguiente tabla 34 se comparará las isotermas elaboradas anteriormente mediante su R^2 .

Tabla 34

Comparación de las isotermas para el Arsénico.

	ISOTERMA DE LANGMUIR	ISOTERMA DE FREUNDLICH
Ecuación	$y = 2.4274x + 2.8038$	$y = 0.3349x - 0.7108$
R^2	$R^2 = 0.9449$	$R^2 = 0.9162$

En la tabla 35 se observa que la isoterma que tiene una excelente representación de las concentraciones obtenidas experimentalmente (datos) en la bioadsorción de los iones arsénico (V) es la Isoterma de Langmuir, ya que su $R^2 = 0.9449$, es mayor que el de la isoterma de Freundlich.

Por lo tanto, se procederá a calcular la constante de Langmuir (K_L) y la Capacidad máxima de bioadsorción (q_{max}) a partir de la comparación de variables entre la ecuación de Langmuir linealizada (ecuación 9) y la ecuación calculada con los datos o concentraciones obtenidas experimentalmente.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * K_L * C_e} + \frac{1}{q_{max}} \quad \Leftrightarrow \quad y = 2.4274x + 2.8038$$

➤ **Capacidad máxima de bioadsorción (q_{max})**

$$\frac{1}{q_{max}} = 2.8038 \Rightarrow q_{max} = \mathbf{0.3566 \text{ mg/g}}$$

La capacidad máxima de bioadsorción es igual a 0.3566 mg/g, y explica la tasa máxima de retención de arsénico por unidad de peso de endocarpio (mg de arsénico/ g endocarpio).

➤ **Cálculo de la constante de Langmuir (K_L)**

$$\frac{1}{q_{max} * K_L} = 2.4274 \Rightarrow K_L = \mathbf{1.1551}$$

Esta constante está asociada con la energía o intensidad de bioadsorción (L/mg), dicho en otras palabras, es la afinidad que tiene el ion arsénico por los grupos funcionales del bioadsorbente, manera que un elevado valor de K_L es indicativo de una mayor afinidad, él K_L es llamado constante de Langmuir.

No hay que olvidar que la constante R_L adimensional es una de las características del modelo de Langmuir y se calcula mediante la ecuación 10:

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L * C_o}$$

Donde:

- C_o (mg/L): esto representa la concentración inicial del ion adsorbato o metal.
- K_L (L/mg): Constante de Langmuir.

Además de acuerdo con Barreto (2021), menciona que dependiendo del valor de R_L , la isoterma puede adquirir determinadas características, por ejemplo:

- $R_L = 0$, entonces la isoterma es irreversible.

- $R_L > 1$, entonces la bioadsorción de los iones metálicos no es significativa, por lo tanto, la isoterma es desfavorable.
- $0 < R_L < 1$, entonces la isoterma indica que la bioadsorción es favorable.
- $R_L = 1$, entonces la isoterma es lineal (pp. 58).

Entonces reemplazando en la ecuación 10 obtenemos:

$$R_L = \frac{1}{1 + 1.1551 * 4.726} \Rightarrow R_L = 0.1548$$

De acuerdo con Barreto (2021), tenemos que la constante adimensional R_L está dentro del intervalo $0 < 0.1548 < 1$, lo que indica que la isoterma es favorable, por lo tanto la bioadsorción del arsénico es significativa.

➤ Interpretación

De acuerdo a los resultados obtenidos, las concentraciones de iones de arsénico (V) se representan mejor por la isoterma de Langmuir, describiendo una bioadsorción con distribución homogénea de los iones arsénico formando una monocapa debido a que los sitios activos del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) están distribuidos equitativamente, es decir, todos los sitios activos se van ocupando en la misma proporción ya que están representados por grupos funcionales similares, generando una energía de bioadsorción constante. El modelo de Langmuir menciona que existe asociación química entre los iones de arsénico y la superficie del endocarpio ya que se unen mediante enlaces químicos. Por lo tanto, el tipo mecanismo de bioadsorción de los iones arsénico (V) es la adsorción química o quimisorción, generándose una transformación de estos iones por la interacción química intensa con el endocarpio; esta interacción o energía de activación producen enlaces fuertes y de naturaleza covalente con los sitios activos (agrupaciones funcionales) del endocarpio y los iones arsénico, siendo más fuertes que en la fisisorción.

4.7. Determinación de la eficacia de remoción

Para determinar el porcentaje de remoción del cadmio (II) y arsénico (V), llamado también porcentaje de adsorción para nuestra investigación, se aplicó la ecuación 13

$$\%R = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} * 100$$

Donde:

- %R: Porcentaje de eficacia de remoción.
- C_o : Concentración inicial del cadmio o arsénico mg/L.
- C_f : Concentración final del cadmio o arsénico mg/L.

4.7.1. Cadmio

Para analizar la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que generó mayor eficacia en la bioadsorción de cadmio (II) se tuvieron en cuenta los cuatro pesos de endocarpio que se emplearon y las concentraciones de iones cadmio adheridas a dichos pesos, tal como se presenta en la siguiente tabla 35 y figura 17.

Tabla 35

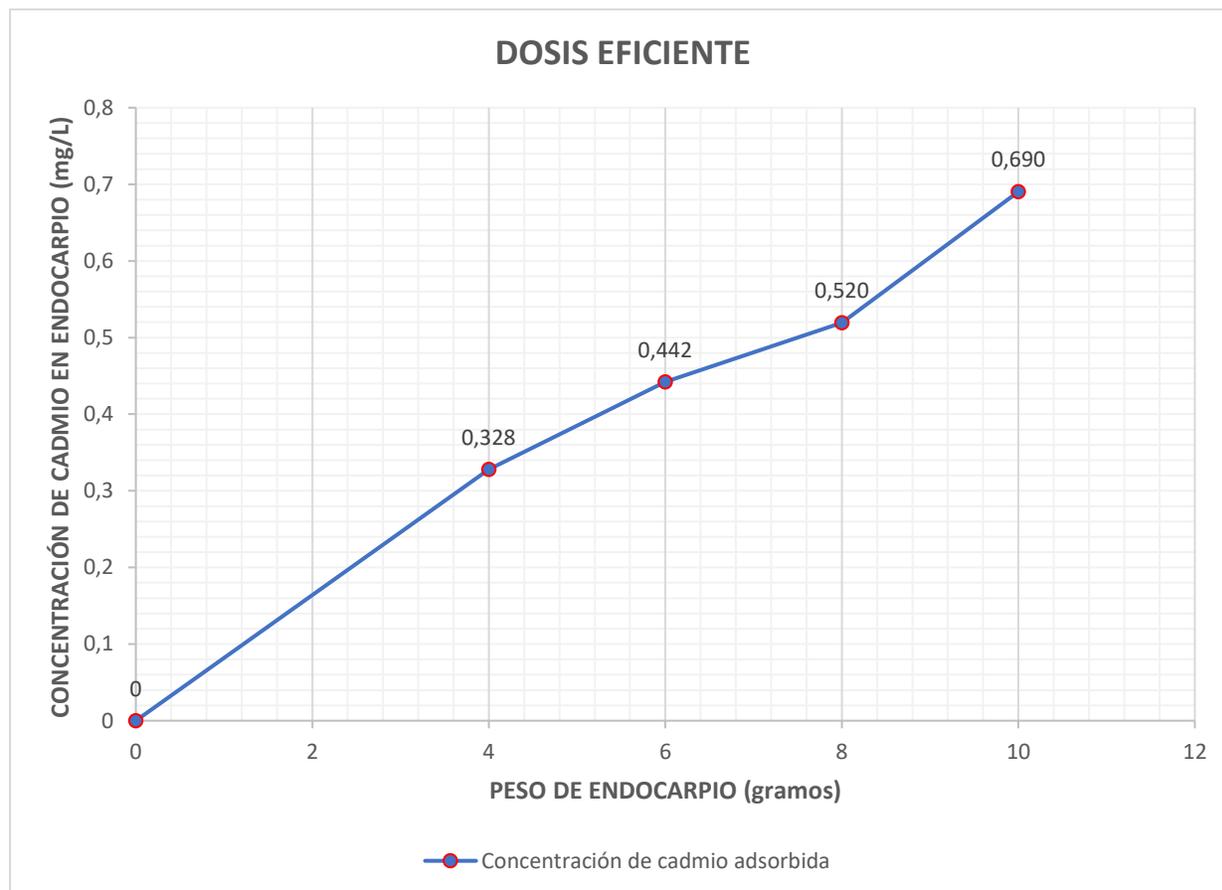
Concentraciones de iones cadmio adheridas a las dosis de endocarpio.

Peso (gramos)	Concentración de iones cadmio adheridas al endocarpio (mg/L)
0	0
4	0.328
6	0.442
8	0.520
10	0.690

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

Dosis de endocarpio de aceituna (Olea europaea) que generó mayor eficacia en la bioadsorción de cadmio (II)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Según los datos analizados, la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que fue más eficiente la bioadsorción de cadmio (II) fue la de **10 gramos de endocarpio** ya que adsorbe más cantidad de iones cadmio, adsorbiendo una cantidad de **0.690 mg/L**, mientras que la dosis de 8 gramos adsorbe 0.520 mg/L, la dosis de 6 gramos adsorbe 0.442 mg/L y la dosis de 4 gramos adsorbe 0.328 mg/L.

De acuerdo con la figura 18 y tabla 36, podemos observar que la dosis de 10 gramos fue la que genero más cantidad de remoción del cadmio (II) usando como bioadsorbente el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), obteniendo un porcentaje de remoción del 40.53%.

Tabla 36

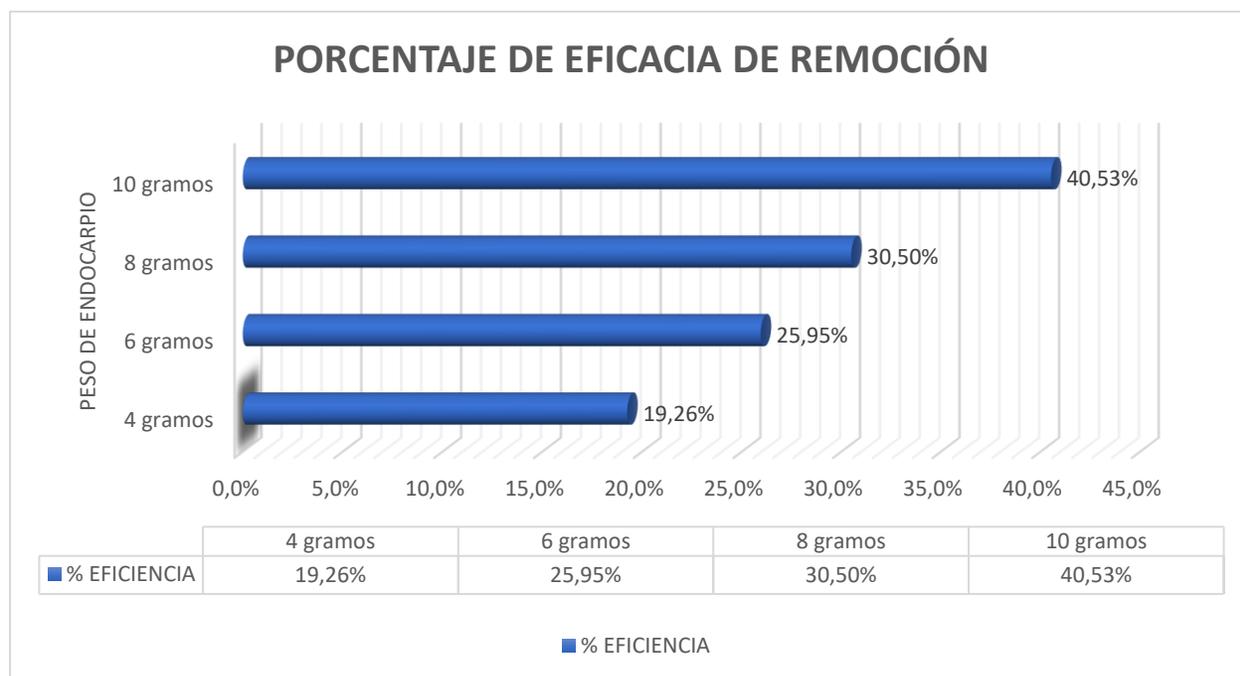
Parámetros para graficar el porcentaje de eficacia de remoción del Cadmio.

Dosis de endocarpio	4 g	6 g	8 g	10 g
Concentración inicial de Cd (mg/L)	1.70			
Concentración final de Cd (mg/L)	1.38	1.26	1.18	1.01
% Eficacia	19.26	25.95	30.50	40.53

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Porcentaje de eficacia de remoción para el Cadmio.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. Arsénico

Para analizar la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que generó mayor eficacia en la bioadsorción de arsénico (V) se tuvieron en cuenta los cuatro pesos de endocarpio que se emplearon y las concentraciones de iones arsénico adheridas a dichos pesos, tal como se presenta en la siguiente tabla 37 y figura 19.

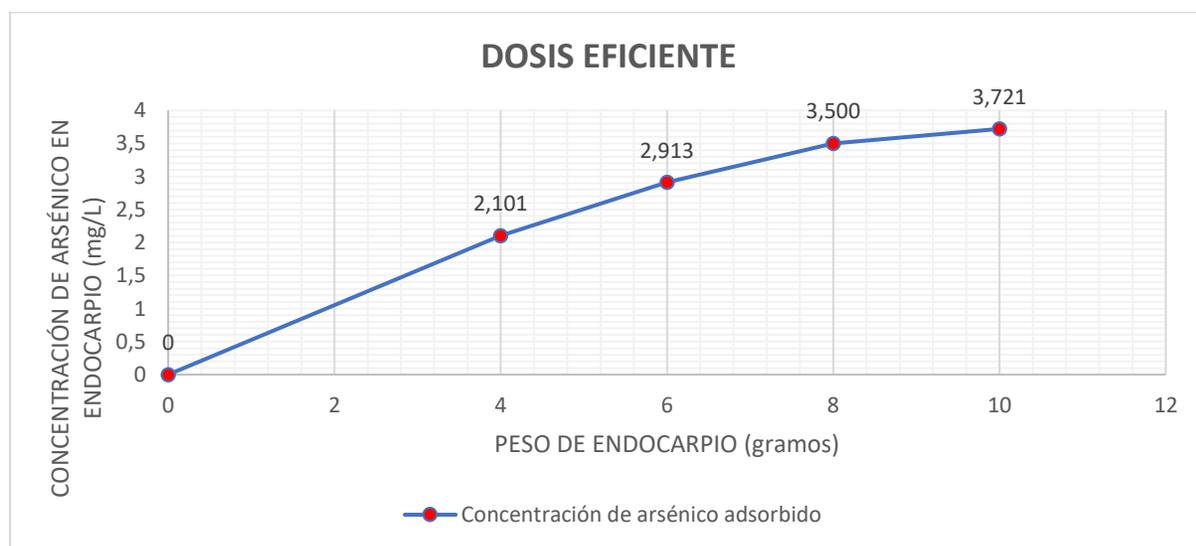
Tabla 37

Concentraciones de iones arsénico adheridas a las dosis de endocarpio.

Peso (gramos)	Concentración de iones arsénico adheridas al endocarpio (mg/L)
0	0
4	2.101
6	2.913
8	3.500
10	3.721

Figura 19

*Dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que generó mayor eficacia en la bioadsorción de arsénico (V).*



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Según los datos analizados, la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que fue más eficiente en la bioadsorción de arsénico (V) fue la de **10 gramos** ya que adsorbe más cantidad de iones arsénico, adsorbiendo una cantidad de **3.721 mg/L**, mientras que la dosis de 8 gramos adsorbe 3.500 mg/L, la dosis de 6 gramos adsorbe 2.913 mg/L y la dosis de 4 gramos adsorbe 2.101 mg/L.

De acuerdo con la figura 20 y tabla 38, podemos observar que la dosis de 10 gramos fue la que generó más cantidad de remoción del arsénico (V) usando como bioadsorbente el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), obteniendo un porcentaje de remoción del 78.73%.

Tabla 38

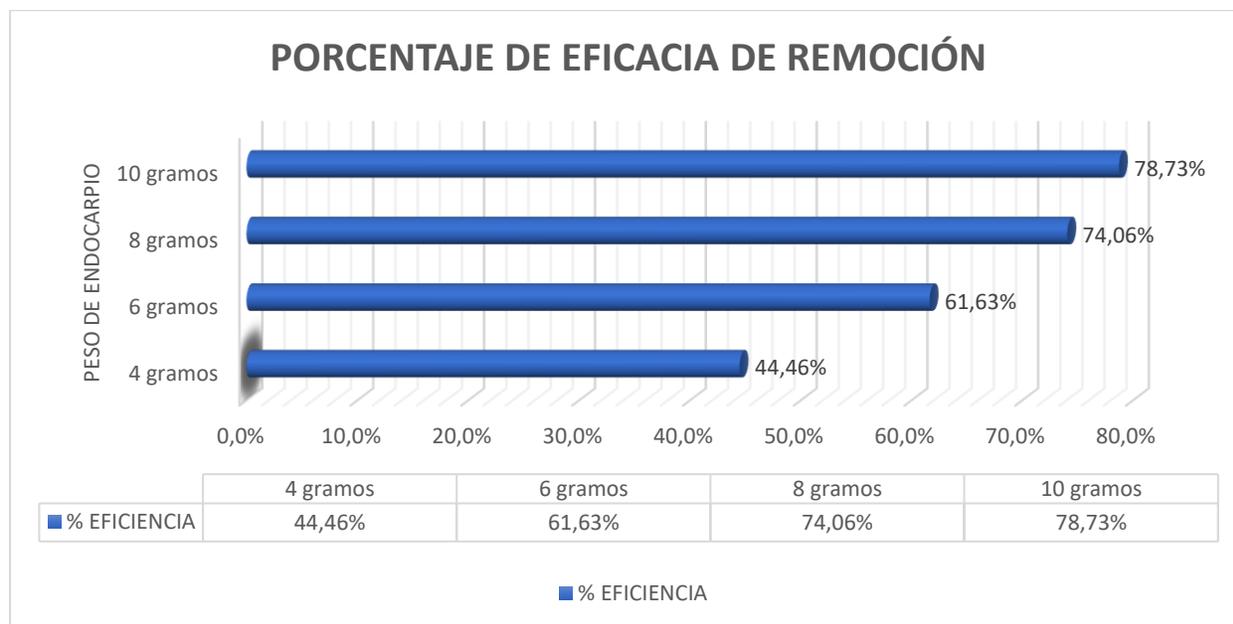
Parámetros para graficar el porcentaje de eficacia de remoción del Arsénico.

Dosis de endocarpio	4 g	6 g	8 g	10 g
Concentración inicial de Cd (mg/L)	4.73			
Concentración final de Cd (mg/L)	2.62	1.81	1.23	1.01
% Eficacia	44.46	61.63	74.06	78.73

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 20

Porcentaje de eficacia de remoción para el Arsénico.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.8. Comparación con los límites máximos permisibles

En esta parte de la investigación se comparó las concentraciones obtenidas de cadmio y arsénico con los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas establecidos en el D.S. 010-2010-MINAM. Específicamente con el límite máximo permisibles para el cadmio total en cualquier momento que es de 0.05 mg/L y para el arsénico total en cualquier momento que es de 0.1 mg/L.

4.8.1. Cadmio

De acuerdo con la figura 21 y tabla 39, podemos observar la concentración al inicio de la caracterización del DAM para el cadmio (II) y el límite máximo permisible del cadmio (II) en mg/L, además, apreciamos las concentraciones obtenidas después del tratamiento de bioadsorción para cada dosis empleada.

Tabla 39

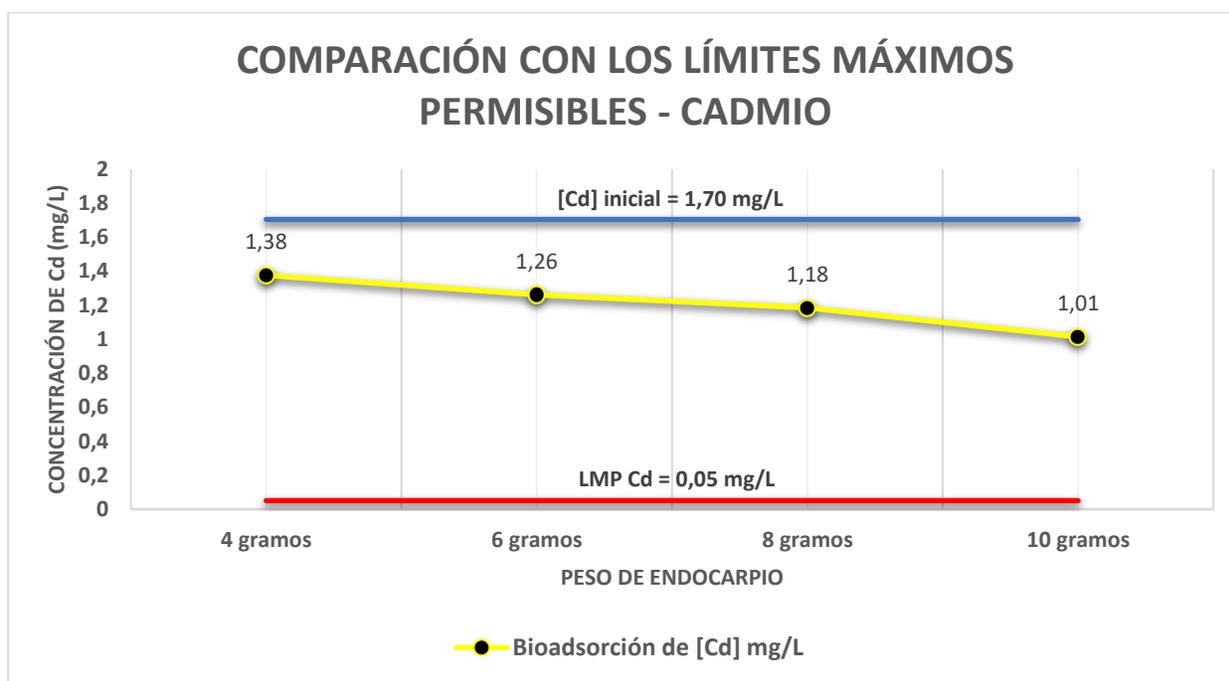
Concentraciones de Cadmio obtenidas para cada dosis de endocarpio.

Parámetros	Valores
Límite máximo permisible para el Cd	0.05 mg/L
Concentración inicial de Cd	1.70 mg/L
Concentración de Cd – 4 gramos endocarpio	1.38 mg/L
Concentración de Cd – 6 gramos endocarpio	1.26 mg/L
Concentración de Cd – 8 gramos endocarpio	1.18 mg/L
Concentración de Cd – 10 gramos endocarpio	1.01 mg/L

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

Comparación con el límite máximo permisible para las concentraciones de Cadmio.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Interpretando la figura 21 podemos apreciar que 4 gramos de endocarpio reducen la concentración inicial de cadmio (1.70 mg/L) a 1.38 mg/L, 6 gramos de endocarpio reducen la concentración inicial de cadmio a 1.26 mg/L, 8 gramos de endocarpio reduce a 1.18 mg/l la

concentración inicial del cadmio y 10 gramos de endocarpio reducen 1.01 mg/l la concentración inicial del cadmio, sin embargo, estas concentraciones obtenidas exceden al valor estándar (0.05 mg/L) según lo indicado por la normativa peruana (LMP), en otras palabras, los diferentes tratamientos no alcanzan a cumplir los LMP, esto es un indicador que el endocarpio no tiene un potencial de adsorción alto para el metal de cadmio (II).

4.8.2. *Arsénico*

De acuerdo con la figura 22 y tabla 40, podemos observar la concentración al inicio en la caracterización del DAM para el arsénico (V) y el límite máximo permisible del arsénico (V) en mg/L, además, apreciamos las concentraciones obtenidas después del tratamiento de bioadsorción para cada dosis empleada.

Tabla 40

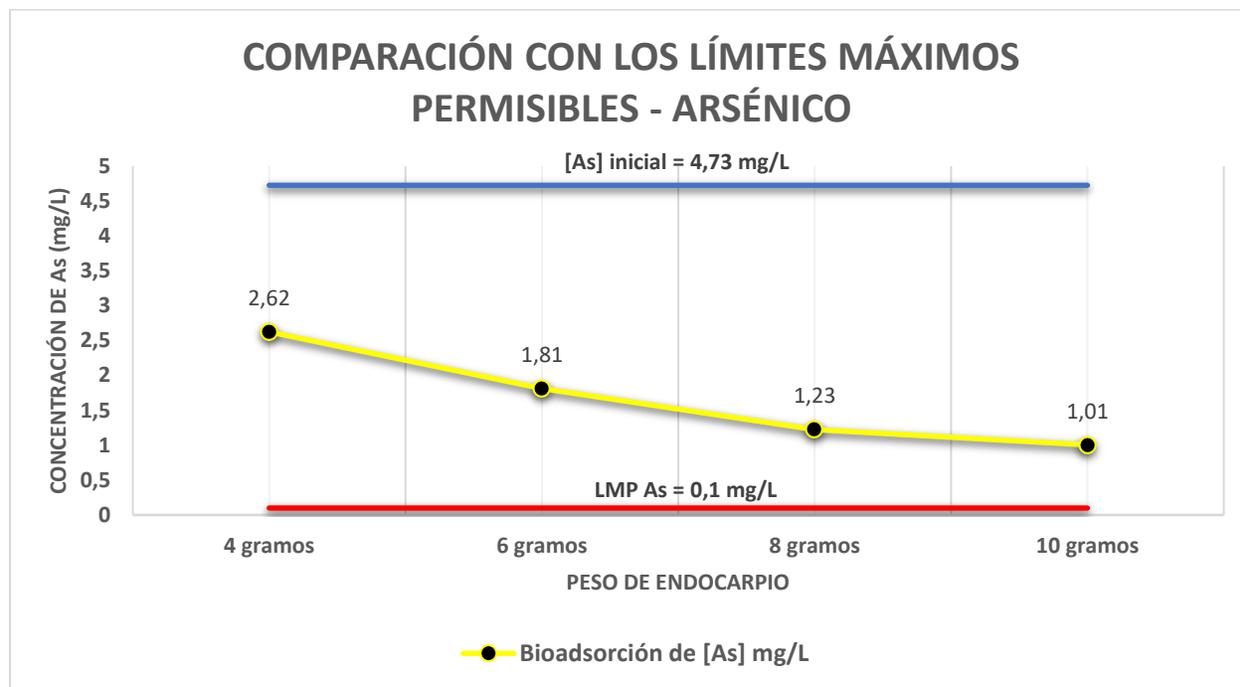
Concentraciones de Arsénico obtenidas para cada dosis de endocarpio.

Parámetros	Valores
Límite máximo permisible para el As	0.1 mg/L
Concentración inicial de As	4.73 mg/L
Concentración de As – 4 gramos endocarpio	2.62 mg/L
Concentración de As – 6 gramos endocarpio	1.81 mg/L
Concentración de As – 8 gramos endocarpio	1.23 mg/L
Concentración de As – 10 gramos endocarpio	1.01 mg/L

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 22

Comparación con el límite máximo permisible para las concentraciones de Arsénico.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Interpretando la figura 22 podemos apreciar que la concentración de arsénico inicial (4.73 mg/L) se reduce a 2.62 mg/L aplicando 4 gramos de endocarpio, 6 gramos de endocarpio reducen la concentración inicial de arsénico a 1.81 mg/L, 8 gramos de endocarpio reducen la concentración inicial de arsénico a 1.23 mg/L y 10 gramos de endocarpio reducen la concentración inicial de arsénico a 1.01 mg/L, sin embargo, estas concentraciones obtenidas exceden al valor estándar (0.1 mg/L) según lo indicado por la normativa peruana (LMP), en otras palabras, los diferentes tratamientos no alcanzan a cumplir los LMP, esto es un indicador que el endocarpio no tiene un potencial de adsorción alto para el metal de arsénico (V). Ahora bien, al comparar ambos procesos de bioadsorción podemos apreciar que el del arsénico es más significativa que la del cadmio, ya que la concentración de arsénico se reduce más al aplicar las dosis de endocarpio, es decir, el endocarpio muestra mayor efecto de bioadsorción con el arsénico que con el cadmio.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación consistió en determinar el efecto del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) en la bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V) del drenaje minero de la unidad Nivel Quinto a través de la cantidad o porcentaje de remoción de dichos metales, además, se estimaron las dosis que generaron mayor eficacia y se identificó el modelo de isoterma que mejor representó la bioadsorción de estos metales. Así pues, los resultados que se presentaron después de la experimentación se compararon con estudios relacionados con temáticas y objetivos semejantes (antecedentes).

En nuestra investigación se experimentó con 3 réplicas o repeticiones, a temperatura ambiente en un sistema batch o discontinuo por el método de jarras con 200 RPM de velocidad de agitación, tiempo de agitación de 90 minutos y tiempo de sedimentación de 60 minutos, empleando 500 mL de drenaje ácido de mina, presentando un pH de 5.01 y varios metales, entre ellos cadmio y arsénico con 1.70 y 4.73 mg/L de concentración respectivamente, además, se empleó endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) como bioadsorbente en partículas de 250 μm de diámetro (tamiz N° 60) aplicado en diferentes dosis de 4, 6, 8 y 10 g. Obteniendo la mayor eficacia para dosis de 10 gramos, generando porcentajes de remoción del 40.53% para el cadmio (II) y 78.73% para el arsénico (V).

En comparación con Palomares (2021) en su investigación titulada “Cinética y equilibrio de adsorción de Mn y Cu utilizando endocarpio de aceituna para el tratamiento de aguas ácidas de la unidad minera Yauricocha”, empleó 200 mL de muestra de aguas ácidas de mina, con tiempo de agitación de 30, 60, 90 y 120 minutos; también empleó el mismo diámetro de partículas (250 μm micras, malla N° 60) de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) en forma de carbón activado aplicado en diferentes dosis de 0.5, 1, 1.5 y 2 g. Obteniendo porcentajes para remover el cobre de

73,08 % a un pH 5 y de manganeso de 99,14 % a 3 de pH, donde la dosis óptima para ambos metales fue de 1 g y el tiempo óptimo de agitación fue de 90 minutos. Llegando a la conclusión que Palomares logró mayor porcentaje de remoción de metales empleando aguas acidas de mina con el mismo tiempo de agitación, el mismo diámetro de partículas y el mismo bioadsorbente, pero en forma de carbón activado; en consecuencia, podemos afirmar que el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) es más afino a la bioadsorción de cobre y manganeso, que a la bioadsorción de cadmio y arsénico.

De la misma forma Romero (2017), en su investigación titulada “La pepa de aceituna y la biosorción en efluentes mineros con alta concentración de plomo y zinc en la U.E.A, Heraldos Negros -Acobambilla - Huancavelica 2017”, al igual que en nuestra investigación, se empleó el mismo diámetro de partículas (250 μm micras, malla N° 60) de pepa de aceituna (*Olea europaea*), aplicado en dosis de 5 y 10 g, en tiempos de agitación de 60 y 90 minutos, tiempo de sedimentación de 60 minutos en un sistema discontinuo, con muestras de 2000 mL de efluente minero a pH de 7.81. Obteniendo porcentajes de remoción de plomo de 96,1 % y de zinc 87.6 %, donde la dosis óptima para ambos metales fue de 10 g. Concluyendo que Romero (2017) logró mayor porcentaje de remoción de metales empleando efluentes mineros con el mismo tiempo de agitación, el mismo tiempo de sedimentación, el mismo diámetro de partículas, el mismo peso y tipo de bioadsorbente, pero con un pH de la solución de 7.81. En consecuencia, podemos afirmar que el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) es más afino a la bioadsorción de Pb y Zn, que a la bioadsorción de Cd y As.

En cuanto al cadmio (II) se obtuvo una concentración final de cadmio del 1.01 mg/L, adsorbiendo 0.690 mg/L de metal, con un porcentaje de remoción del 40.53%, obteniendo 0.041 mg de cadmio por cada gramo de endocarpio (0.041 mg/g) de capacidad de bioadsorción. Así

mismo, se resolvió que el modelo que represento de manera correcta la bioadsorción de los iones fue la de Freundlich con correlación de $R^2=0.5035$. Por consiguiente, presentando un mecanismo de adsorción física o fisisorción.

En comparación con Obregón (2012) en su investigación titulada “Estudio comparativo de la capacidad de bioadsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna”, al igual que en nuestra investigación, se empleó el mismo diámetro de partículas de bioadsorbente (250 μm micras, malla N° 60), con cantidad de 0.015 g, utilizando como agente activante el ácido fosfórico para aumentar la capacidad de bioadsorción a 5 de pH. Obteniendo 12.48 mg de cadmio por cada gramo de endocarpio (12.48 mg/g) de capacidad de bioadsorción y la isoterma de Langmuir fue la que mejor represento la bioadsorción de los iones, siendo diferente a la indicada en nuestra investigación. En consecuencia, podemos afirmar que la semilla de aceituna (*Olea europaea*) activado con ácido fosfórico y transformado en carbón activado alcanza una elevada capacidad de bioadsorción que el estimado en esta investigación, además presentaron diferentes isotermas de adsorción.

De modo similar Espinosa et al. (2020) menciona en su investigación “Adsorción del Pb^{+2} y Cd^{+2} en disolución acuosa con hueso de nanche (*Byrsonima crassifolia*)”, emplearon las mismas réplicas de experimentación, con cantidad de bioadsorbente de 1 g. Obteniendo una remoción del 84 % de cadmio a un pH 8, siendo mayor a la obtenida en esta investigación; además, presento la isoterma de Langmuir para la bioadsorción de los iones con una correlación de $R^2=0.9008$; siendo diferente a la indicada en nuestra investigación. En consecuencia, podemos afirmar que el bioadsorbente aplicado por Espinosa et al. (2020) es más efectivo que el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) al adsorber el cadmio (II) a un pH 8, además presentaron diferentes isotermas de adsorción.

Así mismo Carrillo y González (2015), en su investigación titulada “Biosorción de Pb, Cd y Zn con las cascarillas de las *Jatropha curcas*”, emplearon el mismo diámetro de partículas de bioadsorbente (250 μm micras, malla N° 60) con cantidad de 0.5 g, además, se empleó las mismas cantidades de réplicas de experimentación. Obteniendo una remoción del 78 % de cadmio a un pH 6.4, siendo mayor a la obtenida en esta investigación; por otro lado, presento la misma isoterma de Freundlich para la bioadsorción de los iones con una correlación de $R^2=0.659$. En consecuencia, podemos afirmar el bioadsorbente aplicado por Carrillo y González (2015) es más efectivo que el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) al adsorber el cadmio (II) a un pH 6.4, aun así, presentaron iguales isotermas de adsorción.

En cuanto al arsénico (V) se obtuvo una concentración final de 1.01 mg/L, adsorbiendo 3.721 mg/L de metal, con un porcentaje de remoción del 78.73%, obteniendo 0.357 mg de arsénico por cada gramo de endocarpio (0.357 mg/g) de capacidad de bioadsorción. Además, se resolvió que la isoterma de Langmuir fue la que mejor represento la bioadsorción de los iones con correlación de $R^2=0.9449$. Por consiguiente, presentando un mecanismo de adsorción química o quimisorción.

En comparación con Ordoño y Mendoza (2020) en su investigación “Remoción de cobre Cu (II) y arsénico As (v) de aguas residuales de mina, por adsorción con zeolita natural en proceso batch”, empleó el mismo diámetro de partículas de bioadsorbente (250 μm micras, malla N° 60) en un sistema discontinuo, en muestra de drenaje de mina de 100 ml con 0.36 mg/L de concentración inicial. Obteniendo una remoción del 52.78 % de arsénico (V) a pH 6.2, siendo menor a la obtenida en esta investigación; por el contrario, presento la misma isoterma de Langmuir para la bioadsorción de los iones con una correlación de $R^2=0.9674$. En consecuencia, podemos afirmar que debido al pH de la muestra y al tipo de bioadsorbente aplicado, nuestra

investigación tiene un mayor porcentaje de remoción de arsénico que la de Ordoño y Mendoza, pero presentan igual modelo de isoterma.

De igual manera Sanchez (2018) en su trabajo de investigación titulada “Adsorción de arsénico y antimonio en soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa lignocelulósica de cáscara de cacao”, empleó el mismo diámetro de partículas de bioadsorbente (250 μm micras, malla N° 60), con una velocidad de agitación de la muestra de 200 RPM y con 3 réplicas de experimentación. Obteniendo una remoción del 30.96 % de arsénico a un pH 5, siendo el pH similar al obtenido en esta investigación (5.01); además, presento la misma isoterma de Langmuir para la bioadsorción de los iones con una correlación de $R^2=0.9008$. En consecuencia, podemos afirmar que debido al tipo de muestra y al tipo de bioadsorbente aplicado, nuestra investigación tiene un mayor porcentaje de remoción de arsénico que la de Ordoño y Mendoza (2020), pero presentan igual modelo de isoterma.

VI. CONCLUSIONES

- a. Se concluyó en la presente tesis que existe un efecto del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) en la bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V) presentes en el drenaje minero de la unidad Nivel Quinto – Algamarca mediante la prueba estadística ANOVA, concluyendo que hay diferencia significativa entre las medias de las concentraciones obtenidas de cadmio (II) y arsénico (V), con sus concentraciones iniciales, dado que el valor de sus probabilidades (cadmio $p=0.015$, arsénico $p=0$) son menores al valor de la significancia (0.05) a un nivel de confianza del 95%, esto comprueba que las concentraciones van variando significativamente conforme se va añadiendo más dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*); concluyendo que existe un efecto o influencia de las 4 dosis de endocarpio (4, 6, 8 y 10 g) en la concentración de cadmio (II) y arsénico (V) del DAM, es decir, van disminuyendo su concentración conforme se va agregando las dosis de endocarpio, obteniendo porcentajes de remoción del 40.53% para el cadmio (II) y 78.73% para el arsénico (V).
- b. Se estimó la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que generó mayor eficacia en la bioadsorción de cadmio (II) mediante la prueba de Tukey, comprobando que el endocarpio tiene efecto en la concentración de cadmio (II) cuando se aplican las 4 dosis (4, 6, 8 y 10 g), pero evidenciamos una mayor eficacia a dosis de 10 g, ya que adsorbió una cantidad de 0.690 mg/L de cadmio (II), reduciendo su concentración de 1.703 a 1.013 mg/L, generando un porcentaje de eficacia en la remoción de cadmio del 40.53%.
- c. Se estimó la dosis de endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) que generó mayor eficacia en la bioadsorción de arsénico (V) mediante la prueba de Tukey, comprobando que el endocarpio tiene efecto en la concentración de arsénico (V) cuando se aplican las 4 dosis

(4, 6, 8 y 10 g), pero evidenciamos una mayor eficacia a dosis de 10 g, ya que adsorbió una cantidad de 3.721 mg/L de arsénico (V) reduciendo su concentración de 4.726 a 1.005 mg/L generando un porcentaje de eficacia en la remoción de arsénico del 78.73%. Adicionalmente podemos afirmar que al comparar ambos procesos de bioadsorción apreciamos que el del arsénico (V) es más significativa que la del cadmio (II), ya que hay mayor remoción, es decir, el endocarpio muestra mayor afinidad o efecto de bioadsorción con el arsénico (V) que con el cadmio (II). Por otro lado, las concentraciones finales obtenidas de cadmio (II) y arsénico (V) son superiores a los valores estándares indicados por los límites máximos permisibles (LMP), en otras palabras, los diferentes tratamientos no alcanzan a cumplir los LMP tanto para el cadmio como para el arsénico, donde los valores estándares son 0.05 mg/L y 0.1 mg/L respectivamente, por lo tanto, afirmamos que el endocarpio no tiene un alto potencial de adsorción para los metales mencionados.

- d. Se identificó que la isoterma de Freundlich fue la que mejor representó la bioadsorción de los iones cadmio (II) presentando una correlación de $R^2=0.5035$. Por lo tanto, el tipo mecanismo de bioadsorción de los iones cadmio es la adsorción física o fisisorción, en donde los iones cadmio se unen con los grupos funcionales de que se encuentran presentes en la parte externa del endocarpio mediante fuerzas electrostáticas y enlaces de Van der Waals, dichas fuerzas se caracterizan por una energía de bioadsorción mínimas o no tan intensas, concluyendo que estos iones no están adherido fuertemente a la superficie del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*).
- e. Se identificó que la isoterma de Langmuir fue la que mejor representó la bioadsorción de los iones arsénico (V) presentando una correlación de $R^2=0.9449$. Por lo tanto, el tipo mecanismo de bioadsorción de los iones arsénico es la adsorción química o quimisorción,

en donde los iones arsénicos se unen con los grupos funcionales que se encuentran presentes en la parte externa del endocarpio por fuerzas covalentes, estas fuerzas se caracterizan por una energía de bioadsorción alta o intensa, de manera que se adhieren fuertemente a la superficie del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*), siendo más fuertes que en la fisisorción.

VII. RECOMENDACIONES

El desarrollo de este estudio conduce a las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones de similares características:

- a. Se recomienda activar el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) con agentes ácidos o básicos, así como también volverlos carbón activados para mejorar la capacidad de bioadsorción, con el fin de reducir las concentraciones de los metales a valores menores de los límites máximos permisibles.
- b. Se recomienda aplicar el endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) en muestras de un solo metal, para evitar la competencia en la ocupación de los sitios activos del bioadsorbente y obtener una mejor bioadsorción de metales.
- c. Se recomienda cambiar las variables operacionales como el tiempo y velocidad de agitación, la dimensión de la partícula, dosis de bioadsorbente y el pH.
- d. Se recomienda realizar el análisis de metales totales, con el fin de saber si las concentraciones obtenidas no exceden los límites máximos permisibles.
- e. Se recomienda la aplicación del endocarpio de aceituna (*Olea europaea*) en otros metales y contaminantes, para evaluar la afinidad y eficacia de remoción.
- f. Se recomienda la aplicación de otros bioadsorbentes de origen orgánico, para darles un valor extra y prevenir elevados costos en el tratamiento del drenaje de mina, con el fin de saber su eficacia en la bioadsorción de metales.

VIII. REFERENCIAS

- Aguirre, N. (2017). *Adsorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (Eucalyptus globulus) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7397>
- Baca, K. S. (2020). *Diseño y evaluación del sistema de tratamiento piloto para el efluente líquido de la mina Nueva Esperanza – nivel 2, Cajamarca 2020 [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/23994>
- Banco Mundial. (20 de Agosto de 2019). *Empeoramiento de la calidad del agua que reduce el crecimiento económico en un tercio en algunos países*. Obtenido de World Bank: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2019/08/20/worsening-water-quality-reducing-economic-growth-by-a-third-in-some-countries>
- Banco Mundial. (05 de Octubre de 2022). *Gestión de recursos hídricos*. Obtenido de World Bank: <https://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement>
- Banco Mundial. (s.f.). *Hacia un mundo limpio, verde y resiliente para todos*. Obtenido de World Bank: <https://www.worldbank.org/en/topic/environment/publication/environment-strategy-toward-clean-green-resilient-world>
- Barreto, C. (2021). *Potencial de remoción de la zeolita natural peruana en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4732>

- Cahuasquí, J. (2016). *Estudio cinético de adsorción de Cu, Ni y Cr utilizando semillas de moringa oleifera como adsorbente y su aplicación en el tratamiento de aguas [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito USFQ]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6979>
- Calero, M., Hernáinz, F., Blázquez, G., Martín, M., & Tenorio, G. (2010). Efecto de diferentes tratamientos químicos en las características sorbentes de residuos derivados de la industria olivarera. *Afinidad, Revista de química teórica y aplicada*. Revistes Catalanes Amb Accés Obert. Obtenido de <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/index>
- Carrillo González, R., & González Chávez, M. (2015). *Biosorción de zinc, cadmio y plomo con cápsulas de Jatropha curcas*. Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal. doi:<https://doi.org/10.7603/s40682-015-0006-1>
- Cayetano, P. (2019). *Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: plomo, cadmio, mercurio y arsénico. [Boletín tecnológico N°3]*. Instituto Nacional de la Salud. Obtenido de <https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/ogitt/cati/3%20BOLET%C3%8DN%20T%C3%89CNOLOGICAS%20N-3%202019.pdf>
- Condor, J., & Maza, D. (2020). *Remoción de plomo para mejorar el agua de Mórrope utilizando carbón activado del endocarpio de aceituna y cáscara de coco [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50262>
- Cruz, Y., & Espinoza, B. (2022). *Efecto del tratamiento con conchas de abanico (Pectinidae) en la concentración de metales disueltos provenientes de pasivos ambientales mineros,*

- Huancayo - 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Continental]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12494>
- Cuevas, M., García, J., Cruz, N., Bravo, V., & Sánchez, S. (s.f.). *Influencia del tamaño de partícula en el tratamiento hidrotérmico del hueso de aceituna*. Universidad de Jaén. Obtenido de <http://www4.ujaen.es/~jfgarmar/asistencia/asistencia02.html>
- Damania, R., Desbureaux, S., Rodella, A.-S., Russ, J., & Zaveri, E. (2019). *Quality Unknown: The Invisible Water Crisis*. Studio Grafik.
- Díaz, M., Gestoso, J., Granado, M., Galindo, M., & Casanueva, M. (2019). *Potencial uso de residuos agroalimentarios en la eliminación de metales contaminantes para la mejora del medioambiente*. Centro Universitario Santa Ana.
- Espinosa, M., Hidalgo, A., Delgado, R., OIvera, L., & Bernal, L. (2020). *Adsorción de Cd(II) y Pb(II) presentes en solución acuosa con hueso de nanche (Byrsonima crassifolia)*. Revista Colombiana de Química. doi:<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v49n2.80633>
- Estrada, J. (2014). *La aceituna de mesa: nociones sobre sus características, elaboración y cualidades*. Obtenido de <https://procesoliva.wordpress.com/2014/12/12/la-aceituna-de-mesa-nociones-sobre-sus-caracteristicas-elaboracion-y-cualidades/>
- Fairbrother, A., Wenstel, R., Sappington, K., & Wood, W. (2007). Framework for Metals Risk Assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68, 145–227. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.03.015>
- Fiol, N., Villaescusa, I., Martínez, M., Miralles, N., Poch, J., & Serarols, J. (2006). Sorption of Pb(II), Ni(II), Cu(II) and Cd(II) from aqueous solution by olive stone waste. *Tecnología*

de separación y purificación. Science Direct. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.11.016>

Gallardo, L., & Acuña, J. (2020). *Proceso de neutralización, directo y por etapas, para remover metales del drenaje ácido de mina-Algamarca, 2020 [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrulo]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1593>

Garagorri, D., & Vela, F. (15 de Noviembre de 2022). *Drenaje ácido de mina (DAM): problemática en los cuerpos de agua y en la biósfera*. Obtenido de Grupo Estudiantil de Medio Ambiente y Recursos del Agua (GEMRA) PUCP: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/gemrapucp/2020/11/15/drenaje-acido-de-mina-dam-problematika-en-los-cuerpos-de-agua-y-en-la-biosfera/>

García, A. (2021). *Determinación de la capacidad de bioadsorción de metales pesados mediante el uso de la cáscara de maracuyá (Passiflora edulis) en aguas contaminadas [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20073>

GRUFIDES. (14 de Febrero de 2017). *La minería convierte a Cajamarca en el primer lugar con más pasivos ambientales en el Perú*. Obtenido de <https://grufides.org/blog/la-miner-convierte-cajamarca-en-el-primer-lugar-con-m-s-pasivos-ambientales-en-el>

Gutiérrez, S. M. (2015). *Estudio de la Bioadsorción de cadmio y plomo con biomasa de Serratia marcescens M8a-2T, a nivel de laboratorio [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/4126>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). Metodología de la Investigación (6ta ed.). México D.F: McGraw-Hill/Interamericana.

Izquierdo, M. (2010). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso. [Tesis doctoral, Universidad de Valencia]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/52130>

Kerlinger, F. (2002). Investigación del Comportamiento. México: McGRAW-HILL.

Lopez, R. (2017). *Influencia de la pulpa de relave minero en la reducción de la concentración de metales pesados y sólidos totales en suspensión de los drenajes ácidos de mina. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1905>

Marmanillo, V., & Taboada, H. (2019). *Evaluación de la adsorción de cobre (II) con cáscara de huevo de las aguas de relave minero [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5994>

Martín, M. Á. (2008). *Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados [Tesis de doctorado, Universidad de Granada]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10481/1906>

McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química [Séptima edición]*. Universidad Iberoamericana.

MINAM. (15 de Octubre de 2005). Ley N° 28611. *Ley General del Ambiente*. Ministerio del Ambiente. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>

- MINAM. (2010). *Decreto Supremo N°010-2010-MINAM*. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-descarga-efluentes-liquidos>
- MINAM. (2011). *Plan nacional de acción ambiental: PLANAA-PERÚ 2011-2021* (2da ed.). Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio. Módulo 1: Salud y ambiente*. Ministerio del Ambiente. Obtenido de <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/93>
- MINAM. (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio. Módulo 3: Agua y alimento* (1era ed.). Ministerio del Ambiente. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4709>
- MINEM. (Agosto de 2009). Normas Técnicas Para Diseño Ambiental (Guías). *Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas*. Obtenido de https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50
- MINEM. (7 de Setiembre de 2022). Resolución Ministerial N.º 335-2022-MINEM/DM. *Actualización del Inventario de Pasivos Ambientales Mineros aprobado mediante Resolución Ministerial N° 290-2006-MEM/DM*. Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/3456690-335-2022-minem-dm?fbclid=IwAR3k_yTg9flx-2QV2REUSWwt8enCfd9vQRNVBCcr_2oRjpJHyBNg92Ik7x4
- Muñoz, J. (2007). *Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “Citrus cinensis” pretratada [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/391>
- Nayhua, L. (2016). *Vigilancia epidemiológica en metales pesados*. Ministerio de Salud .

- Obregón, D. (2012). *Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de Cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5717>
- OCDE. (2021). *Gobernanza del agua en Perú*. OECD Publishing. doi:<https://doi.org/10.1787/f826f55f-es>
- OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano [Cuarta edición que incorpora la primera adenda]*. Organización Mundial de la Salud. Obtenido de <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Ordoño, J., & Mendoza, A. (2020). *Remoción de cobre Cu (II) y arsénico As (V) de aguas residuales de mina, por adsorción con zeolita natural en proceso batch [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14311>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*.
- Palomares, J. (2021). *Cinética y equilibrio de adsorción de Mn y Cu utilizando endocarpio de Aceituna para el tratamiento de aguas ácidas de la unidad minera Yauricocha [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/60029>
- Palomino, C. (2016). *Aprovechamiento de pelos de vacuno del proceso de pelambre de las curtiembres en la remoción de plomo de un efluente. [Tesis de Maestría, Universidad*

- Nacional Agraria La Molina*]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2824>
- Palomino, J., Peña, J., & Zevallos, G. (2015). Metodología de la Investigación. Guía para elaborar un proyecto en salud y educación. Lima: San Marcos EIRL.
- Paredes, A. (2011). *Estudio de la adsorción de compuestos aromáticos mediante carbón activado preparado a partir de la cáscara de castaña*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/827>
- Rey, I. (2016). *Capítulo 4: Adsorción*. Obtenido de <https://docplayer.es/12360867-Capitulo-4-adsorcion-en-las-interfases-de-un-sistema-la-concentracion-de-la-sustancia-ya-sea-liquida-o.html>
- Rodriguez, K. (2019). *Cinética de bioadsorción de los iones de Pb (II) en solución acuosa usando olote de maíz (Zea mays) como bioadsorbente* [tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6132>
- Romero, J. (2017). *La pepa de aceituna y la biosorción en efluentes mineros con alta concentración de plomo y zinc en la U.E.A, Heraldos Negros-Acobambilla-Huancavelica 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/24491>
- Rosique, M. (2013). *Bioadsorción de cadmio por biomasa de Opuntia* [Tesis de pregrado, Universidad Politecnica de cartagena]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10317/3768>

- Ruiz, A. (2018). *Obtención de carbón activado a partir de cáscara de naranja (Citrus sinensis L. Obseck) y su aplicación como adsorbente de plomo (II) en disolución acuosa. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].* Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4043>
- Sadzawka R, A. (2006). *Métodos de análisis de agua para riego.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N°. 37. Centro Regional de Investigación La Platina. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14001/8542>
- Salazar, B. (2017). *Evaluación del proceso de biosorción de Pb (II) Y Cd (II) en agua utilizando el residuo agrícola de Phaseolus vulgaris L. (Frejol) [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María].* Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12390/1748>
- Saleh, M. (2014). *Tratamiento a presión e hidrólisis del hueso de aceituna. Fermentación de hidrolizados con Pachysolen tannophiius [Tesis de doctorado, Universidad de Jaén].* Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10953/697>
- Saloua, D. (2010). *Aprovechamiento de hueso de aceituna. Biosorción de iones metálicos [Tesis doctoral, Universidad de Granada].* Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10481/6621>
- Sanca, M. (2011). Tipos de Investigación Científica. Revista de actualización clínica volumen 9.
- Sánchez, S., Chávez, J., & Lucio, L. (2015). *Pasivos ambientales mineros en la Región Cajamarca.* GRUFIDES. Obtenido de <https://grufides.org/documentos/pasivos-ambientales-mineros-en-la-regi-n-cajamarca-sergio-s-nchez-jorge-ch-vez-laura>

- Sanchez, Y. (2018). *Adsorción de arsénico y antimonio en soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa lignocelulósica de cáscara de cacao [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13286>
- Sandoval, J. (2019). *Eficiencia del jacinto de agua Eichhornia crassipes y lenteja de agua Lemna minor l. en la remoción de cadmio en aguas residuales [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13084/3256>
- Serquén, C. (2020). *Determinación de la eficiencia para la remoción del ion cadmio (+2) empleando la microalga clororófito, Scenedesmus dimorphus (Kützing, 1834), presente en ambientes acuáticos controlados [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4574>
- Supo, J. (2012). Seminarios de Investigación Científica. *Metodología de la Investigación científica para la ciencias de la salud*.
- Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico*. Revista Tecnológicas. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010
- Tenorio, G. (2006). *Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna [tesis doctoral, Universidad de Granada]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10481/1350>

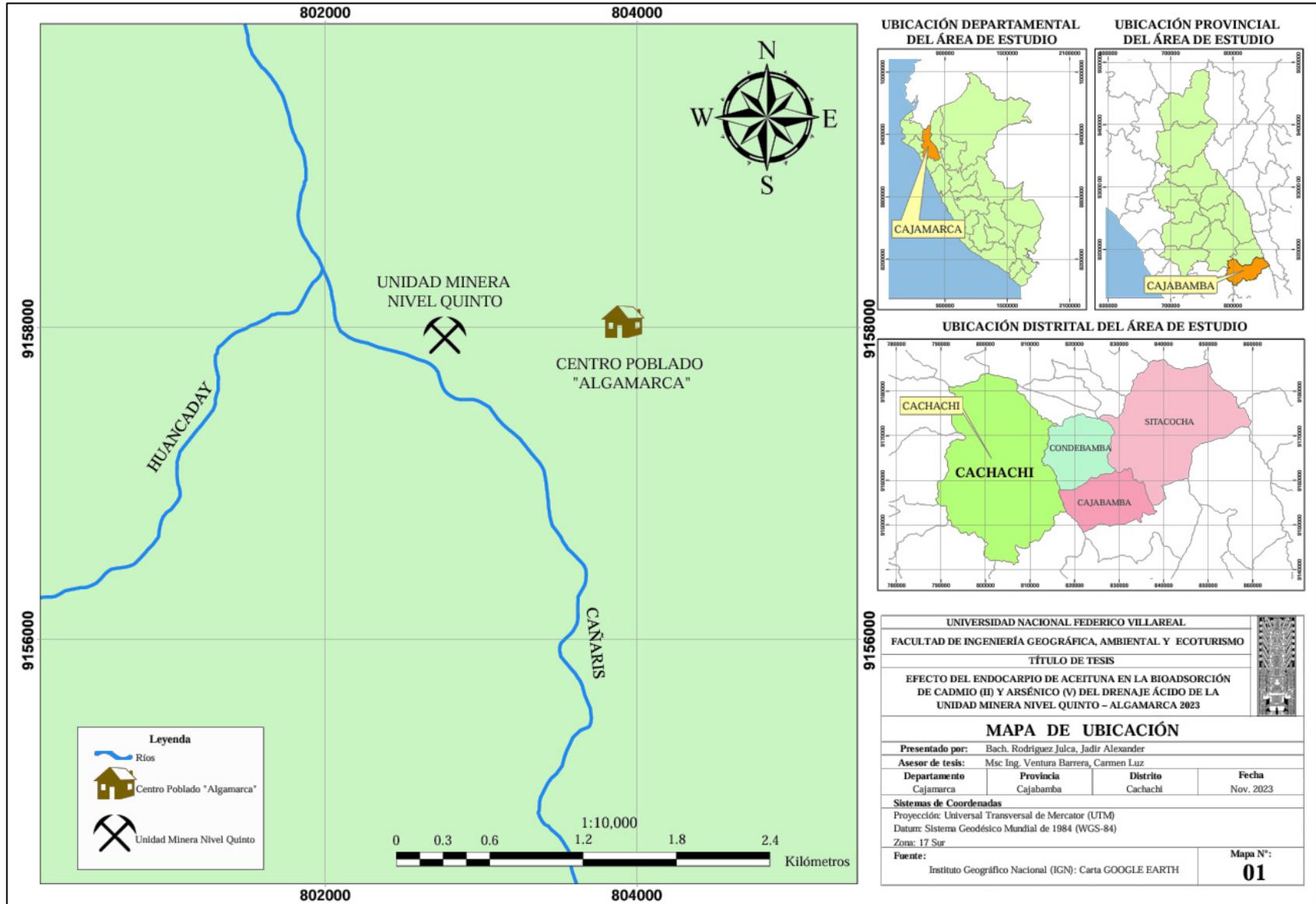
- Trujillo, M. (2015). *Eliminación de cromo (VI) de medios acuosos mediante biosorción con hueso de aceituna: Escalado del proceso y aplicación a la depuración de aguas reales [Tesis doctoral, Universidad de Granada]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10481/40650>
- U.S, E. (1994). *Method 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*. Environmental Sampling and Analytical Methods (ESAM) Program. Obtenido de <https://www.epa.gov/esam/epa-method-2008-determination-trace-elements-waters-and-wastes-inductively-coupled-plasma-mass>
- Vena, G., Huayta, L., Delgado, P., Delgado, Y., & Zumarán, R. (2019). *Biosorción del metal pesado cd (ii) para el tratamiento de efluentes mineros por medio del alginato de sodio*. Revista Boliviana de Química. doi:10.34098/2078-3949.36.4.1
- Zelada, M. (2021). *Influencia de los componentes químicos activos del aserrín en la sorción del antimonio en el agua-Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1632>
- Zevallos, J. F. (2016). *Estabilización del drenaje ácido de mina (Dam) de la Empresa Paraiso Perdido Apat [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4587>

IX. ANEXOS (de ser necesario)

9.1. Anexo A: Matriz de Consistencia

EFECTO DEL ENDOCARPIO DE ACEITUNA (<i>Olea europaea</i>) EN LA BIOADSORCIÓN DE CADMIO (II) Y ARSÉNICO (V) DEL DRENAJE ÁCIDO DE LA UNIDAD MINERA NIVEL QUINTO, ALGAMARCA -2023					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODO	INDICADORES
<p>Problema principal</p> <p>¿Cómo se determina el efecto del endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) en la bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto - Algamarca?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuál será la dosis de endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) que genera mayor eficacia en la bioadsorción de cadmio (II)?</p> <p>¿Cuál será la dosis de endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) que genera mayor eficacia en la bioadsorción de arsénico (V)?</p> <p>¿Cuál es el modelo de isoterma que mejor representa la bioadsorción de cadmio (II)?</p> <p>¿Cuál es el modelo de isoterma que mejor representa la bioadsorción de arsénico (V)?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar el efecto del endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) en la bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto – Algamarca.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Estimar la dosis de endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) que genera mayor eficacia en la bioadsorción de cadmio (II).</p> <p>Estimar la dosis de endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) que genera mayor eficacia en la bioadsorción de arsénico (V).</p> <p>Identificar el modelo de isoterma que mejor representa la bioadsorción del cadmio (II).</p> <p>Identificar el modelo de isoterma que mejor representa la bioadsorción de arsénico (V).</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La aplicación del endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>) como bioadsorbente, reduce la concentración de cadmio (II) y arsénico (V) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto – Algamarca.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Endocarpio de aceituna (<i>Olea europaea</i>).</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Bioadsorción de cadmio (II) y arsénico (V).</p>	<p>Tipo investigación Aplicada.</p> <p>Diseño Experimental.</p> <p>Nivel Explicativo.</p> <p>Ámbito temporal y espacial El desarrollo del proyecto se llevará a cabo en los meses siguientes a la aprobación del plan de tesis, en el centro poblado Algamarca del distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y región de Cajamarca.</p> <p>Muestra 8 litros de drenaje ácido de mina.</p> <p>Instrumento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formato de ubicación y características del punto de monitoreo. • Formato de anotación y observación en la experimentación. • Cadena de custodia. • Reporte de resultados de los análisis. 	<p>Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de partícula (μm) <p>Variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • [Cd] inicial (mg/L). [Cd] final (mg/L). • [As] inicial (mg/L). [As] final (mg/L). • Potencial de hidrógeno (pH). • Pesos de Endocarpio tratado (g). • Velocidad de agitación (RPM). • Tiempo de agitación (min). • Tiempo de sedimentación (min).

9.2. Anexo B: Mapa de Ubicación de la Unidad Minera Nivel Quinto



9.3. Anexo C: Formato de ubicación y características del punto de monitoreo

	UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL		
	Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo		
	Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental		
	TESIS: "EFECTO DEL ENDOCARPIO DE ACEITUNA EN LA BIOADSORCIÓN DE CADMIO (II) Y ARSÉNICO (V) DEL DRENAJE ÁCIDO DE LA UNIDAD MINERA NIVEL QUINTO, ALGAMARCA -2023"		
	FORMATO 01: Ficha de ubicación y características del punto de monitoreo		

LUGAR DE ESTUDIO			
Región	Provincia	Distrito	Centro Poblado
CAJAMARCA	CAJABAMBA	CACHACHI	ALGAMARCA

COORDENADAS DEL CENTRO POBLADO ALGAMARCA			
Coordenadas Geográficas			
Latitud (Sur):	7° 36' 29.81"	Longitud (Oeste):	78° 14' 44.9"
Coordenadas UTM (metros)			
X (este):	803906.48	Y (Norte):	9158039.29
Altitud:	3003 msnm	Zona, Hemisferio:	17S

Nombre de la Mina: Unidad Minera Nivel Quinto

COORDENADAS DE LA "UNIDAD MINERA NIVEL QUINTO"			
Coordenadas Geográficas			
Latitud (Sur):	7° 36' 33.21"	Longitud (Oeste):	78° 15' 21.83"
Coordenadas UTM (metros)			
X (este):	802773	Y (Norte):	9157942
Altitud:	2691 msnm	Zona, Hemisferio:	17S

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA DE DAM	
Muestrea por:	JADIR ALEXANDER RODRIGUEZ JULCA
Fecha:	LUNES 17 DE JULIO DEL 2023
Temperatura de la Muestra:	21,3 °C
Ph de la Muestra:	MDD-001: pH 4.93 MDD-002: pH 5.09
Objetivo: EL MUESTREO DEL DRENAJE ÁCIDO DE LA MINA NIVEL QUINTO SE REALIZÓ CON EL OBJETIVO DE SABER LAS CONCENTRACIONES DE IONES Cd(II) Y As(V)	

OBSERVACIONES DEL MONITOREO
<ul style="list-style-type: none"> • AL MOMENTO DE LLEVAR A CABO EL RECOJO DE MUESTRAS COMENZO A LLOVER, PERO NO FUE CON MUCHA INTENSIDAD POR LO QUE NO HUBO IMPEDIMENTO EN EJECUTARLB. • ZONA DE POCA ACCESIBILIDAD POR LAS CONDICIONES DE TERRENO Y SE TIENE QUE PEDIR PERMISO PARA ENTRAR A LA UNIDAD MINERA.

Anexo del Protocolo de monitoreo de calidad de agua del Subsector Minería del Ministerio de Energía y Minas

9.4. Anexo D: Formato de anotación y observación en la experimentación

	UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL				
	Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo				
	Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental				
	TESIS: "EFECTO DEL ENDOCARPIO DE ACEITUNA EN LA BIOADSORCIÓN DE CADMIO (II) Y ARSÉNICO (V) DEL DRENAJE ÁCIDO DE LA UNIDAD MINERA NIVEL QUINTO, ALGAMARCA -2023"				
FORMATO 02: Ficha de anotación y observación en la experimentación.					
RÉPLICA 001					
Códigos:	MD1-001	MD2-001	MD3-001	MD4-001	
Pesos de endocarpio:	4 g	6 g	8 g	10 g	
Volumen de la muestra (mL):	500		Velocidad de agitación (RPM): 200		
Tiempo de agitación (min):	90		Tiempo de sedimentación (min): 60		
Observación: AL REALIZAR LA EXPERIMENTACIÓN NO SE TUVO NINGUN INCONVENIENTE Y SE REALIZÓ CON TOTAL NORMALIDAD, APLICANDO TODOS LOS PARÁMETROS DESCRITOS.					
RÉPLICA 002					
Códigos:	MD1-002	MD2-002	MD3-002	MD4-002	
Pesos de endocarpio:	4 g	6 g	8 g	10 g	
Volumen de la muestra (mL):	500		Velocidad de agitación (RPM): 200		
Tiempo de agitación (min):	90		Tiempo de sedimentación (min): 60		
Observación: LA EXPERIMENTACIÓN SE REALIZÓ CON TOTAL NORMALIDAD, APLICANDO TODOS LOS PARÁMETROS DESCRITOS DE PESO DE ENDOCARPIO, VOLUMEN DE LA MUESTRA, TIEMPO Y VELOCIDAD DE AGITACIÓN, VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.					
RÉPLICA 003					
Códigos:	MD1-003	MD2-003	MD3-003	MD4-003	
Pesos de endocarpio:	4 g	6 g	8 g	10 g	
Volumen de la muestra (mL):	500		Velocidad de agitación (RPM): 200		
Tiempo de agitación (min):	90		Tiempo de sedimentación (min): 60		
Observación: NO HUBO OBSERVACIONES; LUEGO LAS MUESTRAS TRATADAS FUERON LLENADAS EN FRASCOS PARA SU POSTERIOR ANÁLISIS DE CADMIO (II) Y ARSÉNICO (V).					
Anexo del Protocolo de monitoreo de calidad de agua del Subsector Minería del Ministerio de Energía y Minas					

9.5. Anexo E: Cadena de custodia



Laboratorio Callao
Avenida Elinor Faucil 3348, Callao 1
Teléfono: (01) 517 1900
E-mail: pe.labambientales@sgs.com

Laboratorio Arequipa
Emilio Gumbier N° 275, Parque Industrial
Teléfono: (054) 213304
E-mail: ada.paredes@sgs.com

Laboratorio Cajamarca
Calle Amalito Márquez 257, Barrio San Antonio
Teléfono: (076) 367723
E-mail: jade.huarcaya@sgs.com

CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA

N° 236611

DATOS DEL CLIENTE				FACTURAR A:				Análisis requeridos / Preservantes				TIPOS DE AGUA*																																																																			
Cliente : INNODEVEL S.A.C.				Razón Social: INNODEVEL S.A.C.				Cantidad de envases: (Plástico / Vidrio) Metálicos: <input type="checkbox"/>				<table border="0" style="width: 100%; font-size: 8px;"> <tr> <td colspan="2">AGUA NATURAL</td> <td colspan="2">AP : Agua de lluvia</td> </tr> <tr> <td>ASUB : Agua subterránea</td> <td colspan="3">ALA : Agua de laguna artificial</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">AGUA SALINA</td> </tr> <tr> <td>AT : Agua termal</td> <td colspan="3">AM : Agua de mar</td> </tr> <tr> <td>AS : Agua superficial</td> <td colspan="3">ABL : Agua salobra</td> </tr> <tr> <td>ADR : Agua de río</td> <td colspan="3">BAL : Salmuera</td> </tr> <tr> <td>ADL : Agua de lago / laguna</td> <td colspan="3">ARS : Agua de irrigación y riego (salina)</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">AGUA DE PROCESO</td> </tr> <tr> <td>ADA : Agua de deposición atmosférica</td> <td colspan="3">ACE : Agua de circulación o enfriamiento</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">AGUA RESIDUAL</td> </tr> <tr> <td>ARD : Agua residual doméstica</td> <td colspan="3">AAC : Agua de alimentación para corderos</td> </tr> <tr> <td>ARI : Agua residual industrial</td> <td colspan="3">AC : Agua de calderas</td> </tr> <tr> <td>ARM : Agua residual municipal</td> <td colspan="3">AL : Agua de laboración</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO</td> </tr> <tr> <td>AB : Agua de bebida</td> <td colspan="3">APR : Agua purificada</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="3">ARP : Agua de irrigación y riego (de proceso)</td> </tr> </table>				AGUA NATURAL		AP : Agua de lluvia		ASUB : Agua subterránea	ALA : Agua de laguna artificial			AGUA SALINA				AT : Agua termal	AM : Agua de mar			AS : Agua superficial	ABL : Agua salobra			ADR : Agua de río	BAL : Salmuera			ADL : Agua de lago / laguna	ARS : Agua de irrigación y riego (salina)			AGUA DE PROCESO				ADA : Agua de deposición atmosférica	ACE : Agua de circulación o enfriamiento			AGUA RESIDUAL				ARD : Agua residual doméstica	AAC : Agua de alimentación para corderos			ARI : Agua residual industrial	AC : Agua de calderas			ARM : Agua residual municipal	AL : Agua de laboración			AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO				AB : Agua de bebida	APR : Agua purificada				ARP : Agua de irrigación y riego (de proceso)		
AGUA NATURAL		AP : Agua de lluvia																																																																													
ASUB : Agua subterránea	ALA : Agua de laguna artificial																																																																														
AGUA SALINA																																																																															
AT : Agua termal	AM : Agua de mar																																																																														
AS : Agua superficial	ABL : Agua salobra																																																																														
ADR : Agua de río	BAL : Salmuera																																																																														
ADL : Agua de lago / laguna	ARS : Agua de irrigación y riego (salina)																																																																														
AGUA DE PROCESO																																																																															
ADA : Agua de deposición atmosférica	ACE : Agua de circulación o enfriamiento																																																																														
AGUA RESIDUAL																																																																															
ARD : Agua residual doméstica	AAC : Agua de alimentación para corderos																																																																														
ARI : Agua residual industrial	AC : Agua de calderas																																																																														
ARM : Agua residual municipal	AL : Agua de laboración																																																																														
AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO																																																																															
AB : Agua de bebida	APR : Agua purificada																																																																														
	ARP : Agua de irrigación y riego (de proceso)																																																																														
Contacto : Manuel Zelada Sangay				RUC : 20602149236																																																																											
Teléfono : 966 299 450				Dirección : Pj. Cumalca # 454																																																																											
E-mail : innodevel-sa@gmail.com				Contacto : Manuel Zelada Sangay																																																																											
Proyecto : Monitoreo de metales del Nivel V - Algamarca				Teléfono : 966 299 450																																																																											
Lugar de Inspección : INNODEVEL				Muestreado por : <input type="checkbox"/> SGS <input checked="" type="checkbox"/> El Cliente																																																																											
ENVIAR EL INFORME A:				Frecuencia del Monitoreo:																																																																											
Contacto : Manuel Zelada Sangay				Periódico <input type="checkbox"/>																																																																											
Dirección : Pj. Cumalca # 454				No Periódico <input checked="" type="checkbox"/>																																																																											
Teléfono : 966 299 450				Especial <input type="checkbox"/>																																																																											
E-mail : innodevel-sa@gmail.com																																																																															
N° de Of.:		N° de Pre-Acta:		N° de M.A.:																																																																											
Fecha de inicio:				Fecha de finalización:																																																																											
Hora de inicio:				Hora de finalización:																																																																											
Item	Estación	Coordenadas UTM WGS 84 <input type="checkbox"/> PSAD 56 <input type="checkbox"/>	Altitud (mnm)	Tipo de Agua*	Tipo de Muestra Simple <input type="checkbox"/> Compuesta <input type="checkbox"/>	Fecha	Hora	P	V																																																																						
01	MDO-001			ARI	X	19/07/23	6:20 pm	1	✓																																																																						
02	MD1-001			ARI	X	19/07/23	6:30 pm	1	✓																																																																						
03	MD2-001			ARI	X	19/07/23	6:40 pm	1	✓																																																																						
04	MD3-001			ARI	X	19/07/23	6:50 pm	1	✓																																																																						
05	MD4-001			ARI	X	19/07/23	7:00 pm	1	✓																																																																						
06	MDO-002			ARI	X	20/07/23	12:45 pm	1	✓																																																																						
07	MD1-002			ARI	X	20/07/23	12:55 pm	1	✓																																																																						
08	MD2-002			ARI	X	20/07/23	12:55 pm	1	✓																																																																						
09	MD3-002			ARI	X	20/07/23	12:55 pm	1	✓																																																																						
10	MD4-002			ARI	X	20/07/23	12:55 pm	1	✓																																																																						

Inspector responsable: _____ Fecha: _____ Firma: _____

Representante del Cliente: _____ Fecha: _____ Firma: _____

N° de Coolers N° de Frascos

N° de Ice Pack's

Fecha de Recepción de las Muestras: _____ Hora: _____

Responsable de la Recepción de las Muestras: _____ Firma: _____

Condiciones en que se recibieron las muestras:

Refrigeradas

Preservadas

Dentro del tiempo de conservación

N° de muestras rotas:

Otros (especificar): _____

Temperatura (°C):

D-OPE-P-07ENV-01
R07
FA: Abril 2015



10 JUL 2023

RECIBIDO

Data Center

Hoja _____ de _____



Laboratorio Callao
Avenida Elmer Faucett 3348, Callao 1
Teléfono: (01) 517 1900
E-mail: pe.labambientales@sgs.com

Laboratorio Arequipa
Ernesto Gonthier N° 275, Parque Industrial
Teléfono: (054) 213506
E-mail: ada.paredes@sgs.com

Laboratorio Cajamarca
Calle Amabós Márquez 257, Barrio San Antonio
Teléfono: (078) 367723
E-mail: jade.huarcaya@sgs.com

CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA

N° 236612

DATOS DEL CLIENTE				FACTURAR A:				Análisis requeridos / Preservantes										TIPOS DE AGUA*							
Cliente : INNODEVEL S.A.C.				Razón Social : INNODEVEL S.A.C.				Cantidad de envases (Plástico / Vidrio) Metales Disueltos										AGUA NATURAL ASUB : Agua subterránea AMA : Agua de manantial AT : Agua termal AS : Agua superficial ADR : Agua de río ADL : Agua de lago / laguna ADA : Agua de deposición atmosférica		AP : Agua de piscina ALA : Agua de laguna artificial AGUA SALINA AM : Agua de mar ASL : Agua salobre SAL : Salmuera AMSB : Agua de inyección y reinyección (salina)					
Contacto : Manuel Zelada Sangay				RUC : 20602749236														Frecuencia del Monitoreo: Periódico <input type="checkbox"/> No Periódico <input checked="" type="checkbox"/> Especial <input type="checkbox"/>		AGUA DE PROCESO ACE : Agua de circulación o enfriamiento AAC : Agua de alimentación para Calderas AC : Agua de calderas AL : Agua de lavabón		AGUA RESIDUAL ARD : Agua residual doméstica ARI : Agua residual industrial ARM : Agua residual municipal		AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO APR : Agua purificada AB : Agua de bebida AIRP : Agua de inyección y reinyección (de proceso)	
Teléfono : 466 299 450				Dirección : Psj. Cumulca # 154														Muestreado por : SGS <input type="checkbox"/> El Cliente <input checked="" type="checkbox"/>		OBSERVACIONES					
E-mail : innodevelsac@gmail.com				Contacto : Manuel Zelada Sangay																					
Proyecto : BIOSISTEMA DE METALES DEL NIVEL V - Alajamarca				Teléfono : 966 299 450																					
Lugar de Inspección : INNODEVEL				Muestreado por : SGS <input type="checkbox"/> El Cliente <input checked="" type="checkbox"/>																					
ENVIAR EL INFORME A:				Frecuencia del Monitoreo:																					
Contacto : Manuel Zelada Sangay				Periódico <input type="checkbox"/>																					
Dirección : Psj. Cumulca # 154				No Periódico <input checked="" type="checkbox"/>																					
Teléfono : 966 299 450				Especial <input type="checkbox"/>																					
E-mail : innodevelsac@gmail.com																									
N° de Of.:		N° de Pre-Acta:		N° de M.A.:																					
Fecha de inicio:				Fecha de finalización:																					
Hora de inicio:				Hora de finalización:																					
Item	Estación	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Tipo de Agua*	Tipo de Muestra		Fecha	Hora	P	V														
		WGS 84	PSAD 56			Simple	Compuesta																		
11	MD1-003				ARI	X		20/09/23	3:25 pm	1		✓													
12	MD2-003				ARI	X		20/09/23	3:35 pm	1		✓													
13	MD3-003				ARI	X		20/09/23	3:45 pm	1		✓													
14	MD4-003				ARI	X		20/09/23	3:55 pm	1		✓													
Inspector responsable: _____ Fecha: _____ Firma: _____												N° de Coolers <input type="checkbox"/>		N° de Frascos <input type="checkbox"/>		Fecha de Recepción de las Muestras: _____		Hora: _____							
Representante del Cliente: _____ Fecha: _____ Firma: _____												N° de Ice Pack's <input type="checkbox"/>		Responsable de la Recepción de las Muestras: _____				Firma _____							
Muestra enviada vía:				Responsable del Envío:				Condiciones en que se recibieron las muestras:				Temperatura (°C): _____													
Terrestre <input type="checkbox"/>				Agencia / Persona a cargo del transporte:				Refrigeradas <input type="checkbox"/>				Preservadas <input type="checkbox"/>													
Aérea <input type="checkbox"/>				RUC / DNI:				Dentro del tiempo de conservación <input type="checkbox"/>				N° de muestras rotas: <input type="checkbox"/>													
Fluvial <input type="checkbox"/>				Fecha y Hora del envío:				Otros (especifique): _____																	
Marítima <input type="checkbox"/>																									

20 JUL 2023
RECIBIDO
 Data Center

D-OPE-P-07ENV-01
R07
FA: Abril 2015

9.6. Anexo F: Reporte de resultados de los análisis

SGS	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002	 <small>Registro N° LE - 002</small>									
INFORME DE ENSAYO MA2325252 Rev. 0											
INNODEVEL S.A.C											
JR. LOS LEONES NRO. 464 URB. SANTA MERCED CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA											
ENV / LB-352720-002											
PROCEDENCIA : FISCAL											
<p>Fecha de Recepción SGS : 21-07-2023</p> <p>Fecha de Ejecución : Del 21-07-2023 al 02-08-2023</p> <p>Muestreo Realizado Por : CLIENTE</p>											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Estación de Muestreo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>MD1-001</td></tr> <tr><td>MD2-001</td></tr> <tr><td>MD3-001</td></tr> <tr><td>MD4-001</td></tr> <tr><td>MD0-002</td></tr> <tr><td>MD1-002</td></tr> <tr><td>MD2-002</td></tr> <tr><td>MD3-002</td></tr> </tbody> </table>			Estación de Muestreo	MD1-001	MD2-001	MD3-001	MD4-001	MD0-002	MD1-002	MD2-002	MD3-002
Estación de Muestreo											
MD1-001											
MD2-001											
MD3-001											
MD4-001											
MD0-002											
MD1-002											
MD2-002											
MD3-002											
Emitido por SGS del Perú S.A.C.											
Impreso el 02/08/2023											
											
<p>Jade C. Huarcaya Soto C.B.P. 8471 Jefe de Oficina</p>											
<p><small>"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"</small></p>											
<small>Página 1 de 12</small>											



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

Estación de Muestreo
MD4-002
MD1-003
MD2-003
MD3-003
MD4-003
MD0-001



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD1-001	MD2-001
FECHA DE MUESTREO					19/07/2023	19/07/2023
HORA DE MUESTREO					06:30:00	06:40:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Aluminio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	60.608 ± 5.45	68.828 ± 6.19
Antimonio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00013	0.00434 ± 0.0012	0.00596 ± 0.0017
Arsénico Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	2.87125 ± 0.015	1.63112 ± 0.020
Bario Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.2026 ± 0.0019	0.0219 ± 0.0020
Berilio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00697 ± 0.0015	0.00693 ± 0.0015
Bismuto Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.00258 ± 0.00034	0.00150 ± 0.00020
Boro Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.002	0.006	0.416 ± 0.050	0.474 ± 0.057
Cadmio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	1.26845 ± 0.38	1.42457 ± 0.45
Calcio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.003	0.009	104.160 ± 2.86	120.991 ± 3.49
Cerio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00008	0.00024	0.02509 ± 0.0020	0.02693 ± 0.0022
Cesio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0195 ± 0.0033	0.0228 ± 0.0039
Cobalto Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.83201 ± 0.075	0.95183 ± 0.086
Cobre Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	486.85891 ± 121.71	553.51294 ± 138.38
Cromo Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0042 ± 0.0011	0.0159 ± 0.0040
Estroncio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	0.01064 ± 0.0020	0.02110 ± 0.0040
Fósforo Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.8995 ± 0.081	0.9203 ± 0.083
Galio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.015	0.047	0.304 ± 0.085	0.793 ± 0.22
Galio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00012	0.00050 ± 0.00040	0.00069 ± 0.00060
Germanio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0013 ± 0.00040	0.0015 ± 0.00040
Hafnio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00005	0.00015	0.00069 ± 0.00060	0.00064 ± 0.00050
Hierro Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	48.9885 ± 4.96	56.4975 ± 5.72
Lantano Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	0.0118 ± 0.0032	0.0133 ± 0.0036
Litio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0232 ± 0.0021	0.0253 ± 0.0023
Lutecio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	22.649 ± 2.72	26.185 ± 3.14
Manganeso Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	4.16852 ± 0.29	4.75348 ± 0.33
Mercurio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.5435 ± 0.13	0.6263 ± 0.14
Plata Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0028 ± 0.00030	0.0032 ± 0.00030
Potasio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	16.13 ± 1.29	26.34 ± 2.11
Rubidio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0003	0.0009	0.0167 ± 0.0017	0.0220 ± 0.0022
Selenio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	0.0058 ± 0.0013	0.0070 ± 0.0016
Silicio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.09	0.27	52.52 ± 1.26	56.27 ± 1.36
Silicio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	24.55 ± 2.95	26.30 ± 3.16
Sodio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.006	0.019	1,078.361 ± 118.62	1,273.169 ± 140.049
Talio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00161 ± 0.00037	0.00143 ± 0.00033
Tantalio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Thorio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00006	0.00019	0.00236 ± 0.00016	0.00146 ± 0.00010
Titanio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Uranio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	0.011655 ± 0.0024	0.010445 ± 0.0022
Vanadio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0301 ± 0.0045	0.0363 ± 0.0054
Wolframio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	0.0007 ± 0.00010
Yterbio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00131 ± 0.00028	0.00140 ± 0.00029
Zinc Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0008	0.0026	42.2737 ± 4.23	45.1376 ± 4.51
Zirconio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00015	0.00045	0.00071 ± 0.00016	0.00060 ± 0.00014

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD3-001	MD4-001
FECHA DE MUESTREO					19/07/2023	19/07/2023
HORA DE MUESTREO					06:50:00	07:00:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Aluminio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	58.807 ± 5.11	66.429 ± 5.98
Antimonio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00013	0.00418 ± 0.0012	0.00532 ± 0.0015
Arsénico Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	0.97875 ± 0.017	1.16483 ± 0.020
Bario Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.2035 ± 0.0018	0.0239 ± 0.0022
Berilio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00683 ± 0.0014	0.00742 ± 0.0018
Bismuto Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.00014 ± 0.000020	0.00018 ± 0.000020



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD3-001	MD4-001
FECHA DE MUESTREO					19/07/2023	19/07/2023
HORA DE MUESTREO					06:50:00	07:00:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Boro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.002	0.006	0.450 ± 0.054	0.518 ± 0.062
Cadmio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	1.07685 ± 0.37	1.00271 ± 0.42
Calcio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.003	0.009	104.460 ± 2.87	125.666 ± 3.68
Cerio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00008	0.00024	0.02174 ± 0.0018	0.02268 ± 0.0018
Cesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0180 ± 0.0031	0.0219 ± 0.0037
Cobalto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.79219 ± 0.071	0.93373 ± 0.084
Cobre Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	459.58797 ± 114.90	534.61957 ± 133.65
Cromo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0047 ± 0.0012	0.0081 ± 0.0015
Estaño Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	0.02488 ± 0.0047	0.04101 ± 0.0078
Estroncio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.8609 ± 0.078	0.9695 ± 0.087
Fósforo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.015	0.047	0.850 ± 0.24	0.955 ± 0.27
Gaio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00012	0.00053 ± 0.000040	0.00043 ± 0.000030
Germanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0009 ± 0.00030	0.0013 ± 0.00040
Hafnio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00005	0.00015	0.00036 ± 0.000030	0.00027 ± 0.000020
Hierro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	47.3525 ± 4.79	55.4480 ± 5.61
Lantano Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	0.0112 ± 0.0030	0.0121 ± 0.0033
Litio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0237 ± 0.0021	0.0273 ± 0.0025
Lutecio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	22.394 ± 2.69	26.436 ± 3.17
Manganeso Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	3.97136 ± 0.28	4.65527 ± 0.33
Mercurio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.5085 ± 0.12	0.6160 ± 0.14
Plata Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0019 ± 0.00020	0.0016 ± 0.00010
Potasio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	27.49 ± 2.20	38.99 ± 3.12
Rubidio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0003	0.0009	0.0215 ± 0.0022	0.0269 ± 0.0027
Selenio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	0.0037 ± 0.00090	0.0054 ± 0.0012
Silice Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.09	0.27	50.49 * ± 1.21	56.03 * ± 1.36
Silicio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	23.60 ± 2.83	26.19 ± 3.14
Sodio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.006	0.019	1,087.918 ± 119.67	1,291.343 ± 142.048
Talio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00165 ± 0.00038	0.00160 ± 0.00037
Tantalo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0007	0.0021	0.0024 ± 0.00060	<0.0021
Teluro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Thonio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00006	0.00019	0.00091 ± 0.000060	0.00033 ± 0.000020
Titanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Uranio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	0.008410 ± 0.0018	0.008245 ± 0.0017
Vanadio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0302 ± 0.0045	0.0260 ± 0.0039
Wolframio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00097 ± 0.00020	0.00111 ± 0.00023
Zinc Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0008	0.0026	41.1976 ± 4.12	45.2603 ± 4.53
Zirconio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00015	0.00045	0.00048 ± 0.00011	<0.00045

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD0-002	MD1-002
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	20/07/2023
HORA DE MUESTREO					12:15:00	12:25:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Aluminio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	55.153 ± 4.96	<0.003
Antimonio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00013	0.00740 ± 0.0021	<0.00013
Arsénico Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	5.18524 ± 0.0080	2.38742 ± 0.00030
Bario Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0182 ± 0.0016	<0.0003
Berilio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00611 ± 0.0013	<0.00006
Bismuto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.00313 ± 0.00041	<0.00003
Boro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.002	0.006	0.228 ± 0.027	<0.006
Cadmio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	1.48817 ± 0.34	1.54253 ± 0.00070
Calcio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.003	0.009	89.702 ± 2.36	<0.009
Cerio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00008	0.00024	0.02433 ± 0.0020	0.00049 ± 0.000040
Cesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0173 ± 0.0029	<0.0003
Cobalto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.75395 ± 0.068	<0.00003



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD0-002	MD1-002
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	20/07/2023
HORA DE MUESTREO					12:15:00	12:25:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Cobre Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00003	0.00009	447.96254 ± 111.99	<0.00009
Cromo Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0033 ± 0.00080	<0.0003
Estaño Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010
Estroncio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.8167 ± 0.074	<0.0006
Fósforo Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.015	0.047	<0.047	<0.047
Gaio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00004	0.00012	0.00027 ± 0.000020	<0.00012
Germanio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0019 ± 0.00050	<0.0006
Hafnio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0004	0.0013	42.2830 ± 4.28	<0.0013
Lantano Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0005	0.0015	0.0114 ± 0.0031	<0.0015
Litio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0194 ± 0.0017	<0.0003
Lutecio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.001	0.003	19.739 ± 2.37	<0.003
Manganeso Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00003	0.00010	3.75491 ± 0.26	<0.00010
Mercurio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.5079 ± 0.12	<0.0006
Plata Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0037 ± 0.00030	<0.0006
Potasio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.04	0.13	2.35 ± 0.19	<0.13
Rubidio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0003	0.0009	0.0112 ± 0.0011	<0.0009
Selenio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0004	0.0013	0.0038 ± 0.00090	<0.0013
Silice Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.09	0.27	46.00 * ± 1.10	<0.27 *
Silicio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.04	0.13	21.50 ± 2.58	<0.13
Sodio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.006	0.019	941.040 ± 103.51	<0.019
Talio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00157 ± 0.00036	<0.00006
Tantalio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Torio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00006	0.00019	0.00041 ± 0.000030	<0.00019
Titanio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Uranio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.000003	0.000010	0.017295 ± 0.0036	<0.000010
Vanadio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0215 ± 0.0032	<0.0003
Wolframio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00167 ± 0.00035	<0.00006
Zinc Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0008	0.0026	38.9803 ± 3.90	<0.0026
Zirconio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD2-002	MD3-002
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	20/07/2023
HORA DE MUESTREO					12:35:00	12:45:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Aluminio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.001	0.003	50.322 ± 4.53	54.841 ± 4.94
Antimonio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00004	0.00013	0.00289 ± 0.00081	0.00348 ± 0.00097
Arsénico Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00003	0.00010	1.79428 ± 0.0091	1.25521 ± 0.011
Bario Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0181 ± 0.0016	0.0191 ± 0.0017
Berilio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00632 ± 0.0013	0.00628 ± 0.0013
Bismuto Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.00015 ± 0.000020	0.00006 ± 0.000010
Boro Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.002	0.006	0.324 ± 0.039	0.402 ± 0.048
Cadmio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00001	0.00003	1.02194 ± 0.31	1.29941 ± 0.36
Calcio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.003	0.009	87.462 ± 2.28	98.709 ± 2.70
Cerio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00008	0.00024	0.01865 ± 0.0015	0.02012 ± 0.0016
Cesio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0157 ± 0.0027	0.0177 ± 0.0030
Cobalto Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.68899 ± 0.062	0.75816 ± 0.068
Cobre Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00003	0.00009	398.76718 ± 99.94	440.14728 ± 110.037
Cromo Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0083 ± 0.0021	0.0031 ± 0.00080
Estaño Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00003	0.00010	0.01393 ± 0.0027	0.02209 ± 0.0042
Estroncio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.7918 ± 0.071	0.8384 ± 0.076
Fósforo Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.015	0.047	0.820 ± 0.17	0.881 ± 0.25
Gaio Disuelto	EW EPA200 8 DIS CX	mg/L	0.00004	0.00012	0.00048 ± 0.000040	0.00053 ± 0.000040



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD2-002	MD3-002
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	20/07/2023
HORA DE MUESTREO					12:35:00	12:45:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Germanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0012 ± 0.00030	0.0016 ± 0.00040
Hafnio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00005	0.00015	0.00018 ± 0.000010	0.00023 ± 0.000020
Hierro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	39.7570 ± 4.023	43.9815 ± 4.45
Lantano Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	0.0099 ± 0.0027	0.0108 ± 0.0029
Litio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0209 ± 0.0019	0.0230 ± 0.0021
Lutecio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	18.896 ± 2.27	21.288 ± 2.55
Manganeso Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	3.42416 ± 0.24	3.81429 ± 0.27
Mercurio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.4483 ± 0.10	0.5031 ± 0.11
Plata Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0013 ± 0.00010	0.0014 ± 0.00010
Potasio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	17.19 ± 1.38	25.57 ± 2.050
Rubidio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0003	0.0009	0.0148 ± 0.0015	0.0211 ± 0.0021
Selenio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	0.0033 ± 0.00080	0.0028 ± 0.00060
Silice Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.09	0.27	45.63 * ± 1.090	49.99 * ± 1.20
Silicio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	21.33 ± 2.56	23.37 ± 2.80
Sodio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.006	0.019	895.943 ± 98.55	1,034.268 ± 113.77
Talio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00140 ± 0.00032	0.00144 ± 0.00033
Tantalio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Thorio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00006	0.00019	0.00061 ± 0.000040	0.00047 ± 0.000030
Titanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Uranio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	0.008575 ± 0.0018	0.008135 ± 0.0017
Vanadio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0233 ± 0.0035	0.0271 ± 0.0041
Wolframio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00106 ± 0.00022	0.00108 ± 0.00022
Zinc Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0008	0.0026	37.3108 ± 3.73	40.8136 ± 4.081
Zirconio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD4-002	MD1-003
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	20/07/2023
HORA DE MUESTREO					12:55:00	15:25:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Aluminio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	50.874 ± 4.58	52.171 ± 4.69
Antimonio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00013	0.00323 ± 0.00090	0.00297 ± 0.00083
Arsenico Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	0.94152 ± 0.0099	2.61558 ± 0.0072
Bario Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0194 ± 0.0017	0.0179 ± 0.0016
Berilio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00598 ± 0.0013	0.00579 ± 0.0012
Bismuto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.00014 ± 0.000020	0.00021 ± 0.000030
Boro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.002	0.006	0.436 ± 0.052	0.311 ± 0.037
Cadmio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.98448 ± 0.34	1.31486 ± 0.34
Calcio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.003	0.009	96.107 ± 2.57	89.513 ± 2.35
Cerio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00008	0.00024	0.01832 ± 0.0015	0.02074 ± 0.0017
Cesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0168 ± 0.0029	0.0168 ± 0.0029
Cobalto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.71259 ± 0.064	0.72325 ± 0.065
Cobre Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	408.14098 ± 102.035	420.84012 ± 105.21
Cromo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0035 ± 0.00090	0.0031 ± 0.00080
Estaño Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	0.02922 ± 0.0056	0.00912 ± 0.0017
Estroncio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.8004 ± 0.072	0.7884 ± 0.071
Fosforo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.015	0.047	1.130 ± 0.32	0.318 ± 0.089
Gaio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00012	0.00039 ± 0.000030	0.00045 ± 0.000040
Germanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0008 ± 0.00020	0.0017 ± 0.00050
Hafnio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00005	0.00015	0.00023 ± 0.000020	<0.00015
Hierro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	40.8100 ± 4.13	40.9205 ± 4.14
Lantano Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	0.0098 ± 0.0026	0.0107 ± 0.0029
Litio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0222 ± 0.0020	0.0201 ± 0.0018
Lutecio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD4-002	MD1-003
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	20/07/2023
HORA DE MUESTREO					12:55:00	15:25:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Magnesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	20.271 ± 2.43	19.491 ± 2.34
Manganeso Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	3.55032 ± 0.25	3.57294 ± 0.25
Mercurio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.4671 ± 0.11	0.4759 ± 0.11
Plata Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0017 ± 0.00020	0.0018 ± 0.00020
Potasio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	30.21 ± 2.42	13.47 ± 1.080
Rubidio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0003	0.0009	0.0216 ± 0.0022	0.0154 ± 0.0015
Selenio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	0.0039 ± 0.00090	0.0024 ± 0.00060
Silice Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.09	0.27	47.45 ± 1.14	45.58 ± 1.090
Silicio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	22.18 ± 2.66	21.30 ± 2.56
Sodio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.006	0.019	992.722 ± 109.20	941.290 ± 103.54
Talio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00135 ± 0.00031	0.00143 ± 0.00033
Tantalo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Thorio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00006	0.00019	0.00045 ± 0.000030	0.00038 ± 0.000030
Titanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Uranio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	0.006845 ± 0.0014	0.010305 ± 0.0022
Vanadio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0262 ± 0.0039	0.0246 ± 0.0037
Wolframio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00104 ± 0.00022	0.00111 ± 0.00023
Zinc Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0008	0.0026	38.6112 ± 3.86	37.9163 ± 3.79
Zirconio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD2-003	MD3-003
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	20/07/2023
HORA DE MUESTREO					15:35:00	15:45:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Aluminio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	44.620 ± 4.016	66.536 ± 5.99
Antimonio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00013	0.00258 ± 0.00072	0.00407 ± 0.0011
Arsénico Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	2.01513 ± 0.0081	1.44365 ± 0.013
Bario Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0160 ± 0.0014	0.0229 ± 0.0021
Berilio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00511 ± 0.0011	0.00667 ± 0.0014
Bismuto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.00007 ± 0.000010	0.00013 ± 0.000020
Boro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.002	0.006	0.286 ± 0.034	0.411 ± 0.049
Cadmio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	1.33721 ± 0.28	1.17502 ± 0.43
Calcio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.003	0.009	79.982 ± 2.045	121.739 ± 3.52
Cerio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00008	0.00024	0.01685 ± 0.0014	0.02447 ± 0.0020
Cesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0144 ± 0.0024	0.0213 ± 0.0036
Cobalto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.61835 ± 0.056	0.92517 ± 0.083
Cobre Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	360.44675 ± 90.11	535.21481 ± 133.80
Cromo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0026 ± 0.00070	0.0055 ± 0.0014
Estroncio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	0.01216 ± 0.0023	0.02969 ± 0.0056
Estroncio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.6725 ± 0.061	0.9241 ± 0.083
Fósforo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.015	0.047	0.418 ± 0.12	1.099 ± 0.31
Galio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00012	0.00031 ± 0.000030	0.00055 ± 0.000040
Germanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	0.0017 ± 0.00050
Hafnio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	35.3220 ± 3.57	52.5275 ± 5.31
Lantano Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	0.0087 ± 0.0023	0.0130 ± 0.0035
Litio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0175 ± 0.0016	0.0253 ± 0.0023
Lutecio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	17.137 ± 2.058	25.857 ± 3.10
Manganeso Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	3.07710 ± 0.21	4.61237 ± 0.32
Mercurio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.4072 ± 0.094	0.6060 ± 0.14



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD2-003	MD3-003
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	20/07/2023
HORA DE MUESTREO					15:35:00	15:45:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Plata Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Pomo Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0021 ± 0.0020	0.0015 ± 0.0010
Potasio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	16.10 ± 1.29	30.96 ± 2.48
Rubidio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0003	0.0009	0.0142 ± 0.0014	0.0240 ± 0.0024
Selenio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	0.0074 ± 0.0017	0.0031 ± 0.00070
Silice Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.09	0.27	38.75 * ± 0.93	53.55 * ± 1.29
Silicio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	18.11 ± 2.17	25.03
Sodio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.006	0.019	824.373 ± 90.68	1,251.670 ± 137.68
Taio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00124 ± 0.00029	0.00145 ± 0.00033
Tantalo Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Torio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00006	0.00019	0.00026 ± 0.000020	0.00038 ± 0.000030
Titanio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Uranio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	0.007555 ± 0.0016	0.009040 ± 0.0019
Vanadio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0227 ± 0.0034	0.0254 ± 0.0038
Wolframio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00089 ± 0.00019	0.00116 ± 0.00024
Zinc Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0008	0.0026	32.1892 ± 3.22	43.4160 ± 4.34
Zirconio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD4-003	MD0-001
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	19/07/2023
HORA DE MUESTREO					15:55:00	06:20:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Aluminio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	64.906 ± 5.84	69.679 ± 6.27
Antimonio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00013	0.00429 ± 0.0012	0.00374 ± 0.0011
Arsénico Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	0.91014 ± 0.018	4.28712 ± 0.0071
Bario Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0247 ± 0.0022	0.0229 ± 0.0021
Berilio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00689 ± 0.0014	0.00709 ± 0.0015
Bismuto Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.00020 ± 0.000030	0.00006 ± 0.000010
Boro Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.002	0.006	0.499 ± 0.060	0.270 ± 0.032
Cadmio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	1.05163 ± 0.43	1.91838 ± 0.44
Calcio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.003	0.009	123.683 ± 3.60	114.156 ± 3.23
Cerio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00008	0.00024	0.02367 ± 0.0019	0.03114 ± 0.0025
Cesio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0218 ± 0.0037	0.0222 ± 0.0038
Cobalto Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.92122 ± 0.083	0.95353 ± 0.086
Cobre Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	529.11081 ± 132.28	567.29053 ± 141.82
Cromo Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0051 ± 0.0013	0.0023 ± 0.00060
Estaño Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	0.03253 ± 0.0082	<0.00010
Estroncio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.9805 ± 0.088	1.0149 ± 0.091
Fosforo Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.015	0.047	1.034 ± 0.29	<0.047
Gaio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00004	0.00012	0.00057 ± 0.000050	0.00053 ± 0.000040
Germanio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0010 ± 0.00030	0.0016 ± 0.00040
Hafnio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	53.6460 ± 5.43	52.7815 ± 5.34
Lantano Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	0.0128 ± 0.0035	0.0145 ± 0.0039
Litio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0285 ± 0.0024	0.0236 ± 0.0021
Lutecio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	25.925 ± 3.11	24.976 ± 3.00
Manganeso Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00010	4.57994 ± 0.32	4.69537 ± 0.33
Mercurio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.6040 ± 0.14	0.6149 ± 0.14
Plata Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Pomo Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0011 ± 0.00010	0.0038 ± 0.00030
Potasio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	37.42 ± 2.99	3.28 ± 0.26
Rubidio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0003	0.0009	0.0255 ± 0.0026	0.0134 ± 0.0013
Selenio Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	0.0026 ± 0.00060
Silice Disuelto	EW EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.09	0.27	63.17 * ± 1.55	57.37 * ± 1.39



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MD4-003	MD0-001
FECHA DE MUESTREO					20/07/2023	19/07/2023
HORA DE MUESTREO					15:55:00	06:20:00
CATEGORÍA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORÍA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Disueltos						
Silicio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.04	0.13	29.53 ± 3.54	26.82 ± 3.22
Sodio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.006	0.019	1,274.747 ± 140.22	1,182.991 ± 130.13
Talio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00169 ± 0.00039	0.00175 ± 0.00040
Tantalio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Torio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00006	0.00019	0.00032 ± 0.000020	0.00054 ± 0.000040
Titanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Uranio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.000003	0.000010	0.008565 ± 0.0018	0.021445 ± 0.0045
Vanadio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0229 ± 0.0034	0.0239 ± 0.0035
Wolframio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00120 ± 0.00025	0.00182 ± 0.00038
Zinc Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.0008	0.0026	46.8138 ± 4.68	47.5257 ± 4.75
Zirconio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS_CX	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Aluminio Disuelto	mg/L	0.003	<0.003	98 - 100%	99%	0%
Antimonio Disuelto	mg/L	0.00013	<0.00013	102%	105%	0%
Arsénico Disuelto	mg/L	0.00010	<0.00010	101%	103%	0%
Bario Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	98 - 107%	108%	0%
Berilio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	95 - 99%	101%	0%
Bismuto Disuelto	mg/L	0.00003	<0.00003	100 - 105%	102%	0%
Boro Disuelto	mg/L	0.006	<0.006	94%	95%	0%
Cadmio Disuelto	mg/L	0.00003	<0.00003	98 - 101%	100%	0%
Calcio Disuelto	mg/L	0.009	<0.009	99 - 106%	100%	0%
Cerio Disuelto	mg/L	0.00024	<0.00024	100 - 103%	102%	0%
Cesio Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	100 - 101%	103%	0%
Cobalto Disuelto	mg/L	0.00003	<0.00003	97 - 100%	97%	0%
Cobre Disuelto	mg/L	0.00009	<0.00009	93 - 99%	95%	0%
Cromo Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	99 - 102%	101%	0%
Estaño Disuelto	mg/L	0.00010	<0.00010	99 - 101%	100%	0%
Estroncio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	99 - 102%	98%	0%
Fósforo Disuelto	mg/L	0.047	<0.047	98 - 101%	98%	0%
Gaio Disuelto	mg/L	0.00012	<0.00012	94 - 100%	96%	0%
Germanio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	100 - 101%	108%	0%
Hafnio Disuelto	mg/L	0.00015	<0.00015	96 - 102%	96%	0%
Hierro Disuelto	mg/L	0.0013	<0.0013	94 - 95%	97%	0%
Lantano Disuelto	mg/L	0.0015	<0.0015	98 - 104%	101%	0%
Litio Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	99 - 104%	100%	0%
Lutecio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	102 - 106%	102%	0%
Magnesio Disuelto	mg/L	0.003	<0.003	103 - 108%	108%	0%
Manganeso Disuelto	mg/L	0.00010	<0.00010	103 - 104%	104%	0%
Mercurio Disuelto	mg/L	0.00009	<0.00009	103 - 108%	101%	0%
Molibdeno Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	100 - 101%	101%	0%
Niobio Disuelto	mg/L	0.0015	<0.0015	96 - 99%	102%	0%
Niquel Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	98 - 104%	97%	0%
Plata Disuelto	mg/L	0.000010	<0.000010	100%	100%	2%
Plomo Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	99 - 103%	102%	0%
Potasio Disuelto	mg/L	0.13	<0.13	97 - 100%	97%	0%
Rubidio Disuelto	mg/L	0.0009	<0.0009	98 - 103%	100%	0%
Selenio Disuelto	mg/L	0.0013	<0.0013	100 - 107%	102%	0%
Silicio Disuelto	mg/L	0.27	<0.27	94 - 108%	109%	0%
Silicio Disuelto	mg/L	0.13	<0.13	95 - 108%	109%	0%
Sodio Disuelto	mg/L	0.019	<0.019	100 - 103%	100%	0%
Talio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	101%	101%	0%
Tantalio Disuelto	mg/L	0.0021	<0.0021	97 - 101%	99%	0%
Teluro Disuelto	mg/L	0.003	<0.003	97%	97%	0%
Tiromo Disuelto	mg/L	0.00019	<0.00019	101 - 102%	101%	0%
Tirano Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	99 - 101%	100%	0%
Uranio Disuelto	mg/L	0.000010	<0.000010	100%	101%	0%
Vanadio Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	90 - 100%	101%	0%
Wolframio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	102 - 105%	101%	0%
Yterbio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	97 - 100%	98%	0%
Zinc Disuelto	mg/L	0.0026	<0.0026	103 - 104%	102%	0%
Zirconio Disuelto	mg/L	0.00045	<0.00045	99%	103%	0%



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_EPA200_8_DIS_CX	Cajamarca	Metales Disueltos	EPA 200.8, Rev 5.4:1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2325252 Rev. 0**

NOTAS

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022



LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1907231820
REV. 00

DATOS DEL CLIENTE

Solicitante: Jadir Alexander Rodríguez Julca
RUC / DNI: 73339964
Dirección fiscal: Mz 66 Lt 24, Santa Rosa, Puente Piedra
Representante: Jadir Alexander Rodríguez Julca
Correo Electronico: jadiralexanderr@gmail.com
Teléfono: 944132256
Proyecto: Efecto del endocarpio de aceituna en la bioadsorción de cadmio(II) y arsénico(V) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel Quinto-Algamarca 2023

CONTROL DEL LABORATORIO

Fecha de recepción: 19/07/2023
Fecha de ejecución: 19/07/2023
Fecha de reporte: 28/07/2023
Cadena de custodia: ---

MUESTREO

Muestreo realizado por: Innodevel
N° de muestras: 2
Procedencia: Efluente Unidad Minera Nivel Quinto - Algamarca

ESTACIÓN DE MUESTREO
MDO-001
MDO-002



Manuel A. Zelada Sangay
 CIP: 274151
 Encargado de laboratorio ambiental

Jefe del Laboratorio de Ensayos



LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1907231820
REV. 00

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			MD0-001		MD0-002	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			19-0701		19-0702	
FECHA DE MUESTREO			19/07/2023		19/07/2023	
HORA DE MUESTREO			18:20		18:20	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
pH	Unidad de pH	---	4.93	± 0.01	5.09	± 0.01



LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE1907231820
REV. 00

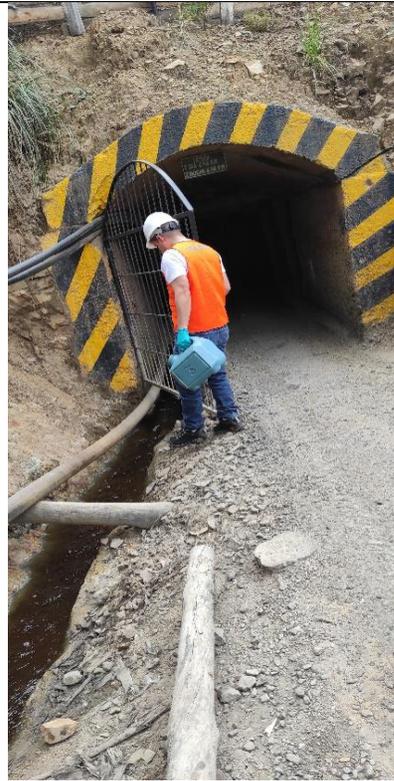
REFERENCIA DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Parámetro	Método de ensayo
4500 H. Optical - Probe. Method. SM Ed 23th.	pH	LE-ME-001

OBSERVACIONES

9.7. Anexo G: Panel fotográfico

1. RECOLECCIÓN DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA

2. RECOLECCIÓN Y PESAJE DE ACEITUNA (*Olea europaea*)

3. LAVADO Y SECADO DE MATERIALES DE LABORATORIO



4. ACONDICIONAMIENTO DEL ENDOCARPIO DE ACEITUNA (*Olea europaea*)

Extracción del endocarpio



Lavado de endocarpio



Secado de endocarpio en la mufla



Separación del endocarpio y la semilla



Molienda del endocarpio



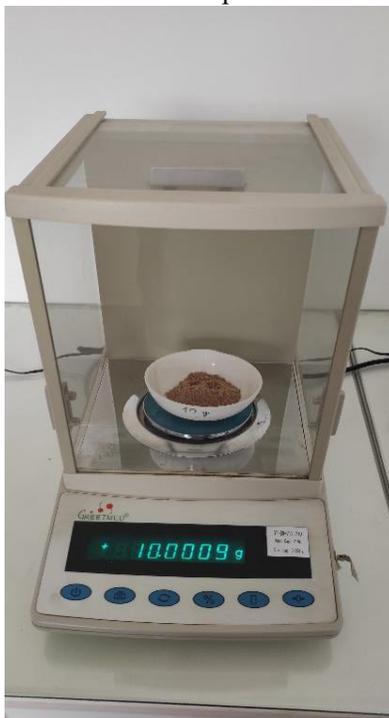
Pesaje de endocarpio en Polvo



Tamizado.



Pesaje de 4, 6, 8 y 10 g de endocarpio.



Pesaje de 4, 6, 8 y 10 g de endocarpio.



5. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Separación de DAM.



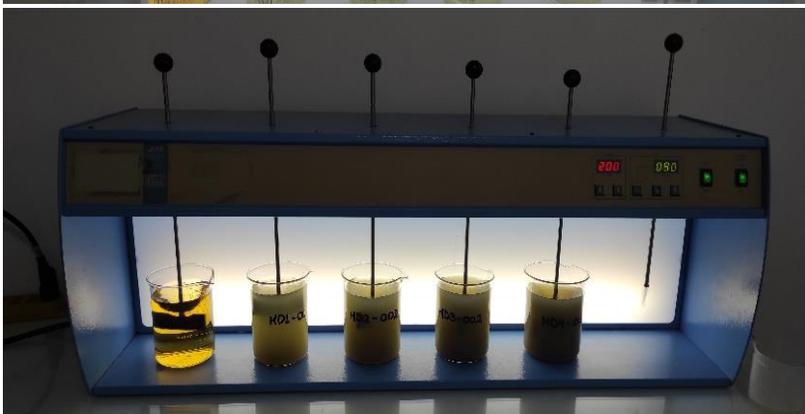
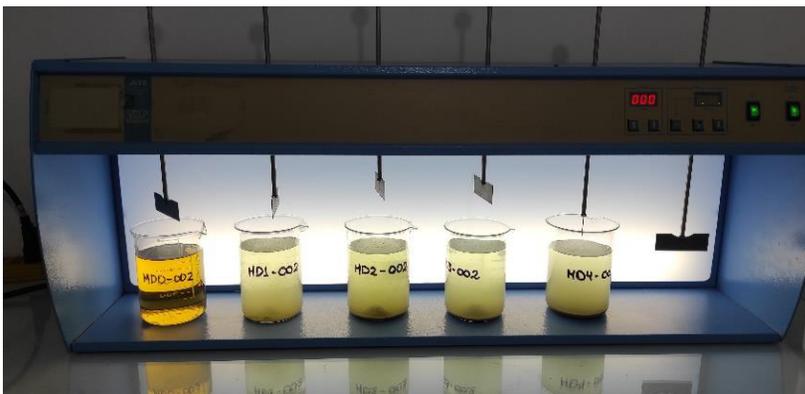
Vaciado de DAM a frascos de 500 mL.



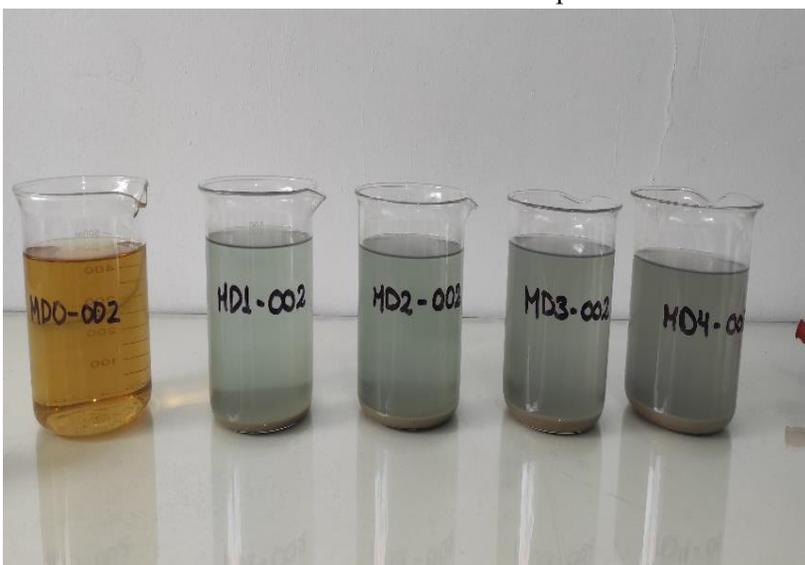
Aplicación de endocarpio al DAM.



Prueba de Jarras.



Vaciado de las muestras tratadas a frascos para su análisis.



9.8. Anexo H: Presupuesto del desarrollo de la tesis

Nº	GASTO ESPECÍFICO/ SUBESPECÍFICO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNIT. S/.	FINANCIAMIENTO PERSONAL S/.
Obtención de la aceituna (<i>Olea europaea</i>)						
1	Aceituna (<i>Olea europaea</i>)	Aceituna (<i>Olea europaea</i>) negra.	1	kg	8.5	8.5
SUB-TOTAL						8.5
Materiales para recolección de muestra						
1	Balde	Capacidad de 2 litro. Marca Rey.	1	Litro	8.5	8.5
2	Caja papel tissue	Pañuelos suaves de 100 unidades.	1	-	10	10
3	Galón	Capacidad de 8 litros. Marca Rey.	1	Litro	16	16
4	Jarra	Capacidad de 1 litro. Marca Rey.	1	Litro	5.5	5.5
5	Casco de seguridad	-	1	-	14.5	14.5
6	Chaleco de seguridad	-	1	-	22	22
7	Lentes de seguridad	Anti empañantes con luna Clara.	1	-	4.7	4.7
8	Caja de Guantes de nitrilo	50 unidades. Talla L.	1	-	34.5	34.5
9	Caja de mascarilla KN95	15 unidades.	1	-	25	25
10	Zapatos de seguridad	Marca clute. Talla 43.	1	-	120	120
SUB-TOTAL						260.7
Servicio de experimentación y análisis de laboratorio						
1	Servicio de laboratorio Innodel.	Laboratorio externo para desarrollar las pruebas experimentales.	2	-	438.8	877.6
2	Análisis de metales disueltos.	Laboratorio de ensayos SGS.	14	-	100	1400
SUB-TOTAL						2277.6
Materiales y equipos de escritorio						
1	Lapiceros.	Tres Azules y tres negros. Marca Pilot.	6	-	2.60	15.6
2	Cuaderno de apuntes.	Marca Alpha.	1	-	5.50	5.5
3	Paquete de hojas bond A4	Marca Atlas. Paquete de 500 hojas.	1	-	15.9	15.9
4	Marcador.	Color negro. Marca FaberCastell.	2	-	6.9	13.8
5	Tablero de apuntes.	Tablero de madera oficio con clip.	1	-	5.37	5.37
7	Navegador GPS.	Alquiler de GPS Marca Garmin.	1	-	85	85

N°	GASTO ESPECÍFICO/ SUBESPECÍFICO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNIT. S/.	FINANCIAMIENTO PERSONAL S/.
SUB-TOTAL						141.17
Servicio de transporte y viáticos						
45	Movilidad y traslado de materiales	Desde el Laboratorio externo Innodelvel hasta el lugar de toma de muestra de DAM	1	-	300	300
46	Viáticos	Desayuno, almuerzo y cena	2	Persona(s)	50	100
SUB-TOTAL						400
TOTAL						3087.97