

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Bioadsorción de plomo en agua fortificada con nitrato de plomo
mediante las escamas del pez *Lisa Mugil cephalus* – a escala
laboratorio**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Renzo Jairo Crisostomo Calderon

Claudia Lucero Ajahuana Mamani

Asesor:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

Lima, octubre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUDITORÍA DEL INFORME DE TESIS

Milda Amparo Cruz Huaranga, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "*BIOADSORCIÓN DE PLOMO EN AGUA FORTIFICADA CON NITRATO DE PLOMO MEDIANTE LAS ESCAMAS DEL PEZ LISA MUGIL CEPHALUS – A ESCALA LABORATORIO*" constituye la memoria que presenta los Bachilleres Renzo Jairo Crisostomo Calderon y Claudia Lucero Ajahuana Mamani para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima, a los 19 días, enero del año 2021.



Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, ... a los **30** días día(s) del mes de **octubre** del año 2020 siendo las **8:30** horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodríguez, el secretario: Ing. Orlando Alan Poma Porras y los demás miembros: Mg. Joel Hugo Fernández Rojas y el Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio; ... y el asesor... Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Bioadsorción de plomo en agua fortificada con nitrato de plomo mediante las escamas del pez *Lisa Mugil cephalus* – a escala laboratorio".

..... de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **RENZO JAIRO CRISOSTOMO CALDERON** b) **CLAUDIA LUCERO AJAHUANA MAMANI** conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **RENZO JAIRO CRISOSTOMO CALDERON**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	19	A	EXCELENTE	Excelencia

Candidato (b): **CLAUDIA LUCERO AJAHUANA MAMANI**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	19	A	EXCELENTE	Excelencia

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Iliana Del Carmen
Gutierrez Rodríguez

Secretario
Ing. Orlando Alan Poma
Porras

Asesor
Mg. Milda Amparo Cruz
Huaranga

Miembro
Mg. Joel Hugo Fernández
Rojas

Miembro
Mg. Jackson Edgardo Pérez
Carpio

Candidato/a (a)
Renzo Jairo Crisostomo
Calderon

Candidato/a (b)
Claudia Lucero Ajahuana
Mamani

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a Dios quién permitió que lográramos esta meta, a nuestros queridos padres, que fueron nuestra fuerza, motivación, aliento, para culminar este objetivo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar los planes que tiene para nosotros, a Julián Ajahuana Quito y Emiliana Rosa Mamani Mamani (mis queridos padres) por todo su apoyo en el desarrollo de mi vida profesional, a mis hermanos y amigos por el apoyo y motivación para la culminación de este proyecto.

Claudia Ajahuana M.

A Dios por ser mi fortaleza para lograr esta meta. A mi madre Elsa Victoria Calderon Huasco y hermanos por la motivación, apoyo incondicional para la realización de esta investigación.

Renzo Crisostomo C.

Asimismo, agradecemos a nuestra asesora Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga por la orientación y apoyo brindado para la ejecución de este objetivo. Al Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe, Ing. Hugo Fernández, Dr. Reynaldo, MSc Silvia Pilco por brindarnos sus conocimientos, aportes para la presentación de esta investigación. A nuestras amistades por motivarnos y apoyarnos durante el proceso de ejecución. Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por apostar por jóvenes talentosos.

INDICE GENERAL

RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
CAPÍTULO I	18
INTRODUCCIÓN	18
1.1. Identificación del Problema.....	18
1.2. Justificación de la investigación.....	21
1.3. Presuposición Filosófica.....	23
1.4. Objetivos de la investigación	24
1.4.1. Objetivo general	24
1.4.2. Objetivos específicos	24
CAPÍTULO II.....	25
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	25
2.1. Antecedentes	25
2.1.1. Antecedentes Internacionales	25
2.1.2. Antecedentes Nacionales	26
2.2. Marco legal.....	27
2.2.1. Constitución Política del Perú - Del ambiente y los Recursos Naturales.....	27
2.2.2. Ley general del ambiente - Ley 28611	28
2.2.3. Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero - Decreto Supremo N° 040-2014-EM	28
2.2.4. Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicos según Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.....	29
2.3. Contaminación de agua por metales pesados	30
2.3.1. Características del plomo.....	31
2.3.2. Contaminación por plomo	32
2.3.3. Riesgos para la salud humana.....	33
2.4. Tecnología para la eliminación de metales pesados.....	34
2.4.1. Precipitación química	36
2.4.2. Intercambio iónico.....	36
2.4.3. Membranas de filtración	37
2.4.4. Adsorción	38
2.5. Bioadsorción.....	40
2.5.1. Ventajas e inconvenientes de la bioadsorción	41
2.5.2. Mecanismos de la bioadsorción.....	42
2.6. Escamas de pescado	44
2.6.1. Características físicas y químicas	46
2.6.2. Como bioadsorbente	46
2.6.3. Mugil cephalus	47
CAPÍTULO III	50

MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.1. Lugar de ejecución	50
3.2. Tipo de Investigación	51
3.3. Diseño de la investigación.....	51
3.4. Materiales, Equipos y Reactivos	52
3.5. Métodos y procedimientos aplicados	54
3.5.1. Recolección de la muestra y análisis físico-químico.....	54
3.5.2. Obtención y preparación del bioadsorbente	57
3.5.3. Caracterización de escamas del <i>Mugil cephalus</i>	61
3.5.4. Preparación del agua fortificada con plomo y ajuste del pH.....	65
3.5.5. Tratamientos de bioadsorción (prueba de jarras)	69
3.6. Variables de estudio	71
3.6.1. Variables Dependientes e Independientes	71
3.6.2. Operacionalización de variables	71
3.7. Diseño de experimentos	72
CAPÍTULO IV.....	75
RESULTADOS Y DISCUSIONES	75
4.1. Caracterización del agua de la quebrada del canal Duvaz y Morococha	75
4.2. Caracterización del bioadsorbente (escamas del <i>Mugil cephalus</i>).....	77
4.2.1. Contenido de agua	77
4.2.2. Contenido de materia inorgánica.....	78
4.2.3. Contenido de calcio, magnesio y nitrógeno.....	79
4.2.4. Análisis morfológico y granulométrico del bioadsorbente mediante microscopía electrónica de barrido (MEB)	80
4.3. Resultados del diseño de experimentos.....	83
4.3.1. Diseño Factorial Fraccionado.....	83
4.3.2. Pruebas a posteriori – Post hoc.....	96
4.4. Cálculo del porcentaje de remoción	99
4.5. Análisis comparativo de los resultados de remoción de plomo con los LMPs para efluentes minero-metalúrgicos.....	101
CAPÍTULO V	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
5.1. Conclusiones	102
5.2. Recomendaciones	103
REFERENCIAS	104
ANEXOS	111

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicos según Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM	30
Tabla 2 Características del plomo	32
Tabla 3 Características generales de las tecnologías	35
Tabla 4 Diferencias entre fisisorción y quimisorción.....	39
Tabla 5 Taxonomía pescado lisa	47
Tabla 6 Composición químico proximal de las escamas de pescado lisa en 100g de muestra	49
Tabla 7 Características fisicoquímicas de escamas de pescado lisa.....	49
Tabla 8 Materiales y reactivos usados en los ensayos de laboratorio	52
Tabla 9 Equipos empleados en la investigación.....	53
Tabla 10 Bioadsorbente utilizado en la remoción de plomo	53
Tabla 11 Coordenadas del punto del muestreo.....	54
Tabla 12 Metodología para la medición de los parámetros de campo	55
Tabla 13 Parámetros de campo punto de muestreo	56
Tabla 14 Porcentaje de rendimiento de escamas	61
Tabla 15 Métodos de análisis para los parámetros químicos de las escamas.....	64
Tabla 16 Método para análisis de plomo total.....	67
Tabla 17 Operacionalización de variables.....	71
Tabla 18 Diseño estadístico, variable dependiente e independientes	74
Tabla 19 Resultados del análisis fisicoquímico de agua del canal Duvaz y Morococha	75
Tabla 20 Valor promedio de plomo total empleado en los tratamientos de bioadsorción ..	76
Tabla 21 Porcentaje de contenido de agua del bioadsorbente	77
Tabla 22 Porcentaje de contenido de materia inorgánica	78
Tabla 23 Contenido de calcio, magnesio y nitrógeno	80
Tabla 24 Resultados de la remoción de plomo con un diseño factorial fraccionado con 3 puntos centrales y 2 réplicas.....	84
Tabla 25 ANOVA de las interacciones de los factores en relación al Plomo	87

Tabla 26 Medias y desviación estándar de los tratamientos.....	97
Tabla 27 Agrupación de medias al 95% de nivel de confianza.....	98
Tabla 28 Variables de los tratamientos significativamente diferentes	98
Tabla 29 Eficiencia de remoción de Pb con los tratamientos.....	100

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas corporales de escamas en pez lisa – Mugil cephalus. EA: Dorso anterior, EL: Línea lateral, EP: Dorso posterior	44
Figura 2. Tipos de escamas de peces representativos.....	45
Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio.....	50
Figura 4. Quebrada del canal de agua Duvaz y Morococha.....	54
Figura 5 Diagrama de obtención y preparación del bioadsorbente	57
Figura 6. Terminal Pesquero Villa María del Triunfo.....	58
Figura 7. Lavado de las escamas del Mugil cephalus en el laboratorio	58
Figura 8. Secado natural de las escamas del Mugil cephalus.....	59
Figura 9. Secado artificial de las escamas al horno de bandeja con aire forzado.....	59
Figura 10. Molienda de las escamas. A: molino casero; B: molino de hojas.....	60
Figura 11. Tamizado de las escamas	60
Figura 12. Preparación de la solución patrón de plomo	66
Figura 13. Disolución de 200mg/L a 30mg/L Pb	67
Figura 14. Preparación del HCl al 2%	68
Figura 15. Micrografía de bioadsorbente a escala de 500 μm	81
Figura 16. Representación esquemática de la porosidad de un adsorbente.....	81
Figura 17. Micrografía SEM de bioadsorbente escala a 30 μm	82
Figura 18. Micrografía SEM de bioadsorbente escala a 1 μm	82
Figura 19. Prueba de valor normal del residual del ajuste del modelo.....	86
Figura 20. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta Plomo (mg/L)	89
Figura 21. Gráfica de medias de la Interacción de factores en la remoción de plomo (Dosis, RPM, pH)	90
Figura 22. Gráfica de medias de la interacción de factores en la remoción de plomo (pH, tiempo, Dosis).....	91
Figura 23. Gráfica de medias de la interacción de factores en la remoción de plomo (pH y Dosis).....	92
Figura 24. Contorno de respuesta del pH y Dosis (g) en la remoción de plomo.....	94

Figura 25. Superficie de respuesta del pH y Dosis (g) en la remoción de plomo	94
Figura 26. Representación de tratamientos significativamente diferentes grupo “B”.....	99
Figura 27. Análisis comparativo de valores post con los LMP 010-2010.....	101

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Porcentaje de rendimiento de escamas	61
Ecuación 2 Contenido de agua	63
Ecuación 3 Porcentaje de cenizas	63
Ecuación 4 Balance de masas	66
Ecuación 5 Modelo matemático de remoción de plomo	96
Ecuación 6 Eficiencia de remoción	99

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 - Informe de ensayo calcio, magnesio, nitrógeno	111
Anexo 2 - Certificado de Acreditación Laboratorio de ensayo Sociedad de asesoramiento Técnico S.A.C	112
Anexo 3 - Informe de Ensayo N° ABR1151.R19	112
Anexo 4 - Resultados Informe de Ensayo N° ABR1151.R19 - I.....	112
Anexo 5 - Resultados Informe de Ensayo N° ABR1151.R19 - II.....	112
Anexo 6 - Control de calidad Ensayo N° ABR1151.R19	112
Anexo 7 - Métodos de ensayo N° ABR1151.R19	112
Anexo 8 - Informe de Ensayo N° MAY1124.R19	112
Anexo 9 - Resultados Informe de Ensayo N° MAY1124.R19 - I.....	112
Anexo 10 - Resultados Informe de Ensayo N° MAY1124.R19 - II.....	112
Anexo 11 - Control de calidad Ensayo MAY1124.R19.....	112
Anexo 12 - Informe de Ensayo N° JUN1043.R19	112
Anexo 13 - Resultados Informe de Ensayo N° JUN1043.R19-I.....	112
Anexo 14 - Resultados Informe de Ensayo N° JUN1043.R19-II.....	112
Anexo 15 - Control de calidad Informe de Ensayo N° JUN1043.R19.....	112
Anexo 16 - Certificado de Acreditación Laboratorio de ensayo CERTIMIN S.A.....	112
Anexo 17 Certificado de análisis de Plomo para calibración de equipo	112
Anexo 18 Calibración equipo IP 1204 M102.....	112
Anexo 19 - Frascos con muestras para análisis en laboratorio Certimin de Plomo Pb.....	112
Anexo 20 - Dosis de bioadsorbente escama Mugil cephalus en placas petri.....	112
Anexo 21 - Microscopio electrónico de barrido HITACHI UHR FE-SEM Serie SU8230	112
Anexo 22 - Vista de Microscopía electrónica de barrido de escamas Mugil Cephalus	112
Anexo 23 Pesado de muestra en laboratorio	112
Anexo 24 Preparación de HCl y ajuste de pH en laboratorio.....	112
Anexo 25 Mezcla de dosis de bioadsorbente.....	112

Anexo 26 Medición de turbiedad antes de ser llevadas a laboratorio para su análisis de Pb	112
.....	112
Anexo 27 Prueba de jarras en ejecución.....	112
Anexo 28 Embolsado de escamas de pescado después del secado artificial.....	112

SÍMBOLOS USADOS

ANOVA	Análisis de varianza
ANA	Autoridad Nacional del Agua - Perú
FF	Factoriales fraccionados
LSD	Least significant difference
MEB	Microscopía Electrónica de Barrido
MINAM	Ministerio del Ambiente - Perú
MINEM	Ministerio de Energía y Minas – Perú
OMS	Organización Mundial de la Salud
Pb	Plomo
pH	Potencial de hidrógeno
RPM	Revoluciones por minuto
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
µm	Micrómetro 10^{-6} metros
nm	Nanómetros 10^{-9} metros

RESUMEN

Uno de los problemas más importantes que atraviesa la sociedad del siglo XXI es la contaminación ambiental, y una de las causas de esta alteración es la presencia de metales pesados que ha ido generando una pérdida en la calidad de aire, recursos hídricos y suelos. Los metales pesados (plomo, entre otros) son uno de los principales contaminantes que se encuentran en los efluentes residuales no tratados, siendo estos la fuente principal de contaminación del agua. Por su persistencia y acumulación estos contaminantes no pueden ser eliminados por métodos convencionales ya que no son biodegradables, se bioacumulan y biomagnifican en los organismos acuáticos, afectando perjudicialmente la salud alimentaria y la salud de las personas. La presente investigación tuvo por objetivo evaluar la bioadsorción de plomo en agua fortificada con nitrato de plomo mediante las escamas del pez Lisa *Mugil cephalus* a escala laboratorio. Se aplicó un diseño factorial fraccionado (2^{k-1}) de 4 factores, 3 puntos centrales y 2 réplicas, obteniendo 22 tratamientos en total. Se determinó que de los 4 factores: pH, Dosis, RPM y Tiempo, 2 fueron significativos: el pH y dosis con un P-valor de 0.030388 y 0.046888 respectivamente al 95% nivel de confianza. Se consiguió una remoción de plomo de 99.43%, bajando de 28.36 mg/L a 0.16 mg/L de Pb. Los niveles donde se obtuvo una concentración baja de plomo fueron: pH de 3.5 y dosis de 6 gramos. Finalmente, el método LSD de Fisher como prueba posteriori, corrobora que las variables de los mejores tratamientos T6, T5 y T8 agrupados en el grupo B, es la dosis de 6gr y pH 3.5.

Palabras clave: Efluente residual, Plomo, bioadsorción, escamas *Mugil cephalus*.

ABSTRACT

One of the most important problems that society is going through in the 21st century is environmental pollution, and one of the causes of this alteration is the presence of heavy metals that have been generating a loss in the quality of air, water resources and soils. Heavy metals (lead, among others) are one of the main pollutants found in untreated wastewater effluents, being these the main source of water pollution. Due to their persistence and accumulation, these contaminants cannot be eliminated by conventional methods because they are not biodegradable, they bioaccumulate and biomagnify in aquatic organisms, adversely affecting food and human health. The objective of this research was to evaluate lead bioadsorption in water fortified with lead nitrate by the scales of *Lisa Mugil cephalus* fish at laboratory scale. A fractional factorial design (2^{k-1}) of 4 factors, 3 central points and 2 replicates was applied, obtaining 22 treatments in total. It was determined that of the 4 factors: pH, Dose, RPM and Time, 2 were significant: the pH and dose with a P-value of 0.030388 and 0.046888 respectively at 95% confidence level. A lead removal of 99.43% was achieved, dropping from 28.36 mg/L to 0.16 mg/L Pb. The levels where a low concentration of lead was obtained were: pH of 3.5 and dose of 6 grams. Finally, the Fisher LSD method as a posteriori test, corroborates that the variables of the best treatments T6, T5 and T8 grouped in group B, is the dose of 6gr and pH 3.5.

Keywords: Residual effluent, Lead, bioadsorption, *Mugil cephalus* scales.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Identificación del Problema

Uno de los problemas más importantes que atraviesa la sociedad del siglo XXI es la contaminación ambiental, y una de las causas de esta alteración es la presencia de metales pesados que ha ido generando una pérdida en la calidad de aire, recursos hídricos y suelos que son utilizados para las actividades agrícolas (Chen, et al., 2013). Y que a través de los años se ha incrementado de manera exponencial (Singh, Sharma, Agrawal y Marshall, 2010).

Por otro lado, la importancia de estudiar y abordar los recursos hídricos se da porque es un recurso limitado e insustituible, clave para el bienestar humano. En la actualidad la ONU indica que más de 1 700 millones de habitantes viven en cuencas fluviales en las que su uso supera la recarga natural, y esto da una probabilidad que dos tercios de la población mundial podría vivir con escasez de agua para el 2025 en muchos países. Asimismo, manifiesta más del 80% de las aguas residuales generadas en actividades humanas se vierten en las fuentes superficiales sin ningún tipo de tratamiento, provocando su contaminación.

Según la OMS (2006), las enfermedades causadas por la contaminación del agua ocasionan gran repercusión en la salud de la población, sobre todo aquellas que son contaminadas por metales pesados. Es por ello, que la determinación de la seguridad del agua es un asunto que involucra a la sociedad. Es decir, es responsabilidad de cada país adoptar normas internacionales o estándares que de alguna manera ayudará a mejorar la salud de las personas.

El aumento de la contaminación de las aguas por metales pesados, ya sea por vía antrópica o natural afecta perjudicialmente la salud alimentaria y la salud de las personas (Huang, Dong Pan, Gu Wu y Chen, 2014). Estudios revelan que se hallaron trazas de metales en peces, carnes y leche

producto de la bioacumulación y movilidad desde la atmósfera hacia las fuentes hídricas (Li, et al., 2015).

Los metales pesados son sustancias con peso molecular muy alto, con una densidad 5 veces mayor a la del agua, son persistentes, no pueden crearse ni auto degradarse por procesos biológicos ni antropogénicos. Según Martorell (2010) una vez que ingresan a los ecosistemas acuáticos, se van transformando mediante procesos biogeoquímicos y distribuyéndose entre varias especies con distintas características fisicoquímicas. Reyes, Vergara, Torres, Díaz y Gonzáles (2016) señalan que en estudios realizados por contaminación de metales pesados en alimentos como carne y leche se encontraron 4 elementos tóxicos siendo estos el cadmio, mercurio, plomo y arsénico, los cuales deben ser monitoreados por su impacto en la salud y concentración.

En esta tesis de investigación se estudió uno de los metales más tóxicos, el plomo. Este metal tiene varios efectos en la salud, afectando al sistema nervioso el cual daña a las neuronas especialmente las del cerebro, afecta a la médula ósea y riñón y también tiene efectos en el medio ambiente. Sanín, Gonzáles, Romieu y Hernández (1998) corroboran estos efectos tóxicos en diferentes órganos, sistemas y procesos fisiológicos, los cuales abarca los riñones, el aparato circulatorio, el reproductor y principalmente el sistema nervioso central.

Según estudios del Instituto de Sanimetría y Evaluación Sanitaria de la Universidad de Washington manifestaron que la exposición al plomo en el año 2015 causó 494 550 muertes. Frente a este acontecimiento la OMS en el 2018 ha incluido al plomo dentro de los diez productos químicos causantes de problemas graves de salud pública.

En cuanto al ambiente, se podría mencionar que las principales fuentes de contaminación se dan por: explotación minera, metalurgia, actividades de reciclaje, uso persistente de pinturas y

gasolinas con plomo. Teniendo como efectos el cambio de la alcalinidad del suelo, contaminación del agua y los cultivos, perjudicando la fauna de ríos y lagos (Eróstigue, 2009).

La contaminación del agua por metales pesados en el Perú es tema de día a día. Según la publicación del diario El Correo de agosto del 2019, se revela altos porcentajes de metales pesados en río Mantaro a causa del derrame del depósito de relave de la unidad minera Cobriza, de la empresa DOE RUN Perú S.R.L. Donde a través del informe del ANA, se mostró que existe presencia de aluminio en 89.96 %, arsénico en 586.3 %, plomo en 198.8 %, y otros, por encima de los ECA del agua.

Por otro lado, la problemática se viene desarrollando en la región de Moquegua, donde las autoridades del MINAM y MINEM dialogaron el 11 de junio del 2019 en busca de soluciones a la problemática de contaminación del río Coralaque por metales pesados. Un caso de contaminación de agua en el Perú, es la del río Rímac. Según Dumler presidente de SEDAPAL, manifestó que el arrojado de basura, la falta de tratamiento de aguas servidas y los relaves mineros son las principales fuentes de contaminación del río Rímac. Agregó también que existen más de 900 puntos de contaminación del río, según el inventario de SEDAPAL y el ANA.

La presente tesis de investigación, propone el tratamiento de bioadsorción de plomo de las aguas contaminadas mediante el uso de un bioadsorbente (escamas del pez lisa "*Mugil cephalus*"), dándole un valor agregado, ya que al no ser muy estudiado va a parar como residuo sólido en los botaderos y rellenos sanitarios.

1.2. Justificación de la investigación

La bioadsorción es una tecnología dentro del tratamiento de aguas residuales, que consiste en captar activa o pasivamente iones metálicos, almacenándose en la superficie del bioadsorbente y formando una pequeña capa. Debido a las propiedades de las biomásas (vivas o muertas) pueden unir y acumular estos tipos de contaminantes por varios mecanismos (Tejada, Villabona y Garcés, 2015).

El surgimiento de la bioadsorción como una alternativa de tratar las aguas, llamó la atención, porque no solo remueve los iones de metales pesados de los efluentes industriales, sino que permite dar un tratamiento a los desechos que antes no tenían ninguna utilidad y valor, demostrando así que estos bioadsorbentes son de bajo costo y fácil adquisición (Fiorentin et al., 2010; Mao, Won, Vijayaraghavan y Yun, 2009).

Las ventajas que presenta la tecnología de bioadsorción frente a las técnicas convencionales son: bajo costo, alta eficiencia, reducción de productos químicos y lodos biológicos, no necesitan nutrientes adicionales y posibilidad de recuperar los metales (Tejada, Villabona y Garcés, 2015). También presenta ventajas como: metales unidos a la superficie de la pared celular, tiempo de bioadsorción rápido, no es controlado por el metabolismo y no se ve afectado por el efecto tóxico del contaminante (Plaza, 2012). Sin embargo, frente a todos los beneficios que puede ofrecer este tipo de tratamiento, no se le ha dado importancia y conocimiento tecnológico y son por estas razones que en la actualidad no ha sido implementado de manera industrial (Das, 2010; Ramírez, Martínez y Fernández, 2013).

La remoción del plomo mediante una biomasa o bioadsorbente (en este caso se las escamas del *Mugil cephalus*) se da básicamente a las proteínas, carbohidratos y componentes como: carboxilo, hidroxilo, sulfatos, fosfatos y amino que poseen, los cuales presentan una gran afinidad

por los iones metálicos, facilitando su captación. Asimismo, Synowiecki y Al-Khateeb (2003) mencionan que se está estudiando adsorbentes más baratos y más efectivos que contienen polímeros naturales, entre estos están los polisacáridos como la quitina que proviene del caparazón de crustáceo. Es así, que los biopolímeros representan una alternativa interesante y atractiva como bioadsorbentes debido a su estructura particular, características fisicoquímicas, estabilidad química, alta reactividad y excelente selectividad hacia compuestos aromáticos y metales, como resultado de la presencia de grupos químicos reactivos (funciones hidroxilo, acetamido o amino) en cadenas poliméricas (Crini, 2005).

La presente investigación optó remover el plomo de las aguas mediante las escamas del *Mugil cephalus* a través del proceso de bioadsorción. Recalcar, que estas escamas no solo remueven plomo, sino otros metales pesados perjudiciales para la salud de las personas. Es por ello, que la finalidad de esta investigación es garantizar la salud de las personas, ahorrando costos en el tratamiento de las aguas mediante un biopolímero que fácil acceso como son las escamas del pez Lisa.

La investigación pretende dar a conocer la remoción de plomo de las aguas contaminadas por este metal pesado y otros, mediante un biopolímero natural como son las escamas del *Mugil cephalus*, garantizando la salud de las personas y ahorrando costos en el tratamiento de las aguas. Las escamas son desechadas en su mayoría como residuo sólido, sin embargo, en la investigación se le dio un valor agregado utilizándolo como bioadsorbente por su alta afinidad de atrapar iones metálicos, ahí radica el plus de la bioadsorción, toma una biomasa o biopolímero de la naturaleza que aparentemente no tiene valor para ser empleado en un tratamiento de aguas residuales.

1.3. Presuposición Filosófica

El Creador de todo es Dios, nosotros somos sus mayordomos en esta tierra, y tenemos la responsabilidad de cuidar y preservar los recursos naturales.

El primer trabajo de Adán y Eva comprendía la mayordomía en el jardín del Edén y toda la creación, ellos debían cuidar, disfrutar y señorear (Gén. 2:15), por ello cuando aceptamos a Cristo, somos citados a administrar los recursos de Dios.

Asumamos la función que Dios tenía en mente cuando nos formó. Él nos creó para gobernar la tierra y estamos a prueba en esta vida, el rol que Dios previó para nosotros antes de crearnos fue proyectarnos como fieles gobernadores de nuestro cuerpo, de nuestro tiempo, de nuestros dones y de las riquezas materia

La tecnología saca beneficio de la creación para el hombre, pero el uso innecesario y la contaminación la degradan y devasta la capacidad de la naturaleza de glorificar a su creador. Es importante entender que debemos ejercer dominio sobre la naturaleza no como si tuviésemos el derecho de utilizarla a nuestra conveniencia sino como algo que se nos ha encomendado.

Los cristianos debemos tratar a la naturaleza como algo que tiene valor intrínseco, ejerciendo dominio sin ser destructivos.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la bioadsorción de plomo en agua fortificada con nitrato de plomo mediante las escamas del pez Lisa *Mugil cephalus* – a escala laboratorio

1.4.2. Objetivos específicos

- Conocer las propiedades físicas, morfológica y químicas de las escamas del *Mugil cephalus* como material bioadsorbente.
- Determinar las variables (factores) que influyen significativamente en la remoción de plomo empleando el Diseño Factorial Fraccionado.
- Determinar condiciones óptimas de la bioadsorción del plomo considerando las variables significativas.
- Analizar los resultados de la remoción de plomo por bioadsorción (bioadsorbente escama *Mugil cephalus*) con los Límites Máximos Permisible (LMP) para efluentes minero-metalúrgicos.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Arias (2017) en su trabajo experimental titulado “Estudio de adsorción de plomo utilizando quitosano modificado con hierro” se propuso adsorber plomo mediante las perlas de quitosano modificado con hierro (ChiFer (III)), determinando su capacidad y velocidad de adsorción. Después de realizar los análisis obtuvo que a un pH 5 el porcentaje de adsorción de plomo es de un 90 %. En el estudio de isotermas los resultados indicaron que la capacidad de adsorción de plomo aplicando perlas de quitosano modificado con hierro es $85,6 \text{ mg g}^{-1}$, dichos datos experimentales se correlacionaron mejor con el modelo de Langmuir, con $R^2 = 0,985$.

Por otro lado, Quevedo (2017) estudió también la adsorción, cuyo objetivo fue determinar la capacidad de adsorción con residuos de camarón. La investigación que realizó fue a escala de laboratorio inoculando una muestra de agua con 3 ppm de plomo, evaluándose el tiempo de residencia en 10, 30, 60, 90 y 120 min, removiendo el 78.96% de Pb. Obteniéndose que el tamaño de partícula óptimo fue con el uso de la malla 40 μm , pH óptimo: 3 con una capacidad de adsorción de plomo de 75%.

Altamirano (2015) estudió la remoción de plomo por medio de quitosano, con el objetivo de reducir este metal a partir del exoesqueleto de camarón, para ello se sintetizó el quitosano a través de métodos fisicoquímicos y posteriormente caracterizarlo determinando su capacidad de adsorción.

Las concentraciones de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ fueron de: 5; 25; 50; 70; 100 a 120 mg/L, a 120 rpm y pH en el rango de 4,33 a 5,62 con 0,1 g de quitosano para cada solución. La remoción fue de 4 a

90 mg/L a temperaturas de 25; 35 y 50 °C; concluyendo que la adsorción fue más eficiente a 25 °C, siendo la eficiencia mayor al 80%, y con esto se demostró que el proceso fue apropiado para la eliminación de metales pesados en el agua.

Vilchis (2013) por otro lado estudió la *adsorción de Plomo (II) presente en solución acuosa sobre hidroxapatitas de calcio, estroncio y bario*, planteándose como objetivo conocer el comportamiento de los iones plomo con los bioadsorbentes. Los ensayos se realizaron por fracciones de acuerdo al tiempo de contacto: 3; 5; 10; 15; 30; 45; 60; 90 y 120 min a 300 rpm; temperatura de 20; 30; 40 y 50 °C y concentración del adsorbato-Pb (NO₃)₂: 1; 3; 5; 7 y 10 mg/L. Se concluye finalmente que la capacidad de adsorción máxima de Pb fue de 0,31; 0,32 y 0,26 mg/g.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En el Perú también se desarrollaron trabajos similares como el de los investigadores Cuadros y Viza (2007) quienes evaluaron la capacidad de las escamas de pescado como adsorbente en diferentes metales pesados; mercurio, níquel, cromo y plomo. Consideraron la adsorción por lotes según su diseño experimental; niveles de concentración de los metales, pH, dosis de escama. Los resultados mostraron que la mayor adsorción Pb se da a pH 2,87 llegando a 66% en 5 min y 74% de adsorción en 10 minutos, con un contenido inicial de 22 ppm. Concluyendo que niveles de pH menores permiten menor adsorción por la competencia con los H⁺, y en tiempos de mayor contacto ocurre la desorción del metal. Finalmente indican que la capacidad de adsorción de las escamas de pescado en determinadas condiciones, permite disminuir la presencia de cromo, níquel y mercurio hasta niveles no detectables.

Delgado (2013) en dicho trabajo determinó la eficiencia de adsorción de las escamas del pez lisa en manganeso, níquel, plomo y zinc. Se estudiaron los efectos de los siguientes factores;

pH, dosis del adsorbente, concentración y tamaño de partícula. Para una dosis de 10 g de adsorbente y 5 minutos de agitación los porcentajes de remoción para Mn^{2+} (96,33%); Ni^{2+} (76,0%), Pb^{2+} (88,22%) y Zn^{2+} (97,45%) respectivamente a pH 6.4. Para otros niveles de concentración a pH 4.3 el porcentaje adsorbido son altos, para Mn^{2+} , Ni^{2+} y Zn^{2+} , sin embargo, para Pb^{2+} el porcentaje de adsorción baja con el aumento de su concentración de 76,01% a 55,64% indicando que en un sistema donde haya plomo se requiere de valores de pH entre 3 y 5 para remover todos los componentes.

Quispe (2017) en su investigación evaluó la remoción de plomo por medio de la bioadsorción mediante escamas de pescado en aguas fortificadas del río San Juan-Pasco, trabajó con dosis óptima, tamaño de partícula, tiempo de contacto y la concentración inicial de la muestra problema como factores operacionales, removiendo en todos los casos mayor al 90%, determinando las condiciones óptimas a un tamaño de partícula de 250 μm , 30 minutos de contacto con el bioadsorbente y 6 gramos de escamas.

2.2. Marco legal

2.2.1. Constitución Política del Perú - Del ambiente y los Recursos Naturales

En la constitución Política del Perú de 1993, título III, capítulo II Del ambiente y los Recursos Naturales en los artículos 66, 67 y 68 señala que los recursos naturales es patrimonio de la nación y el estado es soberano en su aprovechamiento, además promueve su uso sostenible y su conservación.

Artículo 66°.- “Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento. Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal”.

Artículo 67°.- “El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales”. Artículo 68°.- “El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas”.

2.2.2. Ley general del ambiente - Ley 28611

Artículo I.- Del derecho y deber fundamental; toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

2.2.3. Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero - Decreto Supremo N° 040-2014-EM

Artículo 16°.- De la responsabilidad ambiental; el titular de la actividad minera es responsable por las emisiones, efluentes, vertimientos, residuos sólidos, ruido, vibraciones y cualquier otro aspecto de sus operaciones, así como de los impactos ambientales que pudieran generarse durante todas las etapas de desarrollo del proyecto, en particular de aquellos impactos y riesgos que excedan los Límites Máximos Permisibles y afecten los Estándares de Calidad Ambiental, que les sean aplicables o afecten al ambiente y la salud de las personas.

Consecuentemente el titular de la actividad minera debe adoptar oportunamente las medidas de prevención, control, mitigación, recuperación, rehabilitación o compensación en términos ambientales, cierre y post cierre que correspondan, a efectos

de evitar o minimizar los impactos ambientales negativos de su actividad y potenciar sus impactos positivos.

Por ello la importancia de investigar alternativas de tratamiento no convencionales, viables y rentables como propuesta a las medidas de prevención que deben adoptar dichas empresas que se dedican a estas actividades.

Artículo 43°: - Sobre los parámetros de los Estudios Ambientales; las emisiones y efluentes vertidos al ambiente que se deriven de las actividades mineras, no podrán exceder los límites máximos permisibles establecidos. Asimismo, se deberán determinar medidas para controlar las emisiones fugitivas y no sobrepasar la capacidad de carga del cuerpo receptor, evaluada en base a los estándares de calidad ambiental legalmente establecidos.

2.2.4. Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicos según Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM

El límite máximo permisible (LMP) es medida de la concentración de parámetros que caracterizan al efluente líquido de actividades minero metalúrgicas, que al exceder causa o puede causar daños a la salud y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el ministerio del ambiente.

Los límites máximos permisibles fueron actualizados el 2010 con el Decreto supremo N° 010-2010 MINAM derogándose la Resolución ministerial N° 011-96-EM-VMM. Ver tabla 1.

Tabla 1

Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicos según Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM

Parámetro	Unidad	Límite (cualquier momento)	Límite (anual)
pH	mg/L	6 --9	6 --9
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

2.3. Contaminación de agua por metales pesados

La fuente principal de contaminación del agua son los efluentes residuales no tratadas o insuficientemente tratadas. Y uno de los principales contaminantes son los metales pesados, por su persistencia y acumulación, además estos no pueden ser eliminados por métodos convencionales ya que no son biodegradables y se bioacumulan y biomagnifican en los organismos acuáticos (Izquierdo, 2010)

Están considerados como metales pesados los elementos que presentan un peso específico igual a 5 g/cm³ o mayor, incluye los metales del grupo IIA, IIIB, IVB, VB y VIB de la tabla periódica (Royal Society of Canada, 1986). Los más importantes son: *Arsénico (As)*, *Cadmio (Cd)*, *Cobalto (Co)*, *Cromo (Cr)*, *Cobre (Cu)*, *Mercurio (Hg)*, *Níquel (Ni)*, *Plomo (Pb)*, *Estaño (Sn)* y *Zinc (Zn)*.

De estos se pueden dividir en elementos esenciales como el hierro, cromo, cobre, cinc, níquel y el cobalto, quienes son indispensables para el funcionamiento del metabolismo celular. Y el cadmio, el mercurio, el plomo y el arsénico son los elementos no esenciales, elementos tóxicos para los seres vivos y peligrosos en concentraciones bajas.

Son de origen natural o antropogénicos la presencia de metales en el agua. Algunas de las fuentes antropogénicas de contaminación por metales son las actividades domésticas, comerciales e industriales. Algunos de ellos son: Productos químicos agrícolas; minería, fundición, cenizas de la combustión de carbón, petróleo de las centrales térmicas; aguas residuales industriales de industrias metalúrgicas, fábricas de baterías, sector metal-mecánico y residuos urbanos e industriales.

2.3.1. Características del plomo

El plomo (Pb) es un metal brillante, inodoro, gris azulado, ocurre naturalmente en el lecho rocoso, los suelos, la labranza, los sedimentos, las aguas superficiales, subterráneas y el agua de mar (Reimann y de Caritat como se citó en Health Canada, 2013).

El método más utilizado para el análisis de laboratorio del plomo es la espectrofotometría de absorción atómica, seguida por la espectrometría de emisión de plasma. La fecha de muestreo, diseño y representatividad, localización de los puntos, contaminante, componente ambiental, valores promedio, concentraciones mínimas y máximas, método de laboratorio utilizado, programa

de control de calidad empleado en el estudio, deberá contener la información obtenida (International Lead Management Center, 2006). En la tabla 2 se muestra las principales características de este metal.

Tabla 2
Características del plomo

Características	Medida	<i>Nota:</i>
Densidad	11.4 g/ml	
Color	Grisáceo	
Número atómico	82	
Masa atómica	207.19 g/mg	
Funde	327 °C	
Hierve	1725 °C	
Otros	Dúctil, maleable, resistente a la corrosión, pobre conductor de la electricidad.	

Recuperado de (International Lead Management Center, 2006)

2.3.2. Contaminación por plomo

El aumento de las actividades industriales ha intensificado en el medio ambiente problemas de contaminación y el deterioro de varios ecosistemas con la acumulación de muchos contaminantes, especialmente metales pesados. Además, esta acumulación de metales pesados en el medio ambiente se ha convertido en una preocupación debido al creciente riesgo para la salud del público. El cromo, el cadmio y el plomo son los contaminantes más comunes de los metales pesados, encontrados en efluentes industriales (Calero, Hernáinz, Blázquez, Tenorio, & Lara, 2009)

Según Gunnar (2010) indica que un 40 % del plomo se utiliza en forma metálica, 25 % en aleaciones y 35 % en compuestos químicos. Del mismo modo los óxidos de plomo se utilizan en

placas de las baterías eléctricas y los acumuladores (PbO y Pb_3O_4), como agentes de mezcla en la fabricación de caucho (PbO) y en la fabricación de pinturas (Pb_3O_4) y como componentes de barnices, esmaltes y vidrio.

2.3.3. Riesgos para la salud humana

El nivel de plomo en la sangre debería ser cero (Rodríguez y Espinal, 2008). Más aún la OMS (2013), considera como intoxicación los valores de saturnismo más de $15\mu\text{g}/\text{dl}$.

En los países en vías de desarrollo, la exposición a metales tóxicos continúa siendo un riesgo para la salud pública. El sistema nervioso central y periférico son los más afectados por los metales pesados, así como también el riñón, pulmón, hígado, sistema gastrointestinal. El tiempo, nivel de exposición, susceptibilidad de la persona y la ruta por la cual el metal es absorbido son factores que influyen en la severidad y el daño de estos metales pesados (Nava y mendez, 2011).

Un ejemplo de intoxicación se dio en las comunidades de Quiulacocha y Champamarca, Pasco – Perú, donde los relaves mineros de plomo cercanos provocaron un 84,7%, de intoxicación ($\text{Pb} > 10 \mu\text{g}/\text{dL}$) en niños (Astete, et al., 2009).

Según Sanín, González, Romieu y Hernandez (1998) como lugar primario de almacenamiento en el organismo, indica que son los huesos y se ha reportado que la exposición crónica a este metal, promueve una disminución del coeficiente intelectual (IQ), hiperactividad y conducta antisocial.

2.4. Tecnología para la eliminación de metales pesados

El aumento de las actividades industriales ha intensificado los problemas de contaminación ambiental y el deterioro de varios ecosistemas con la acumulación de muchos contaminantes, especialmente metales pesados. El cromo, el cadmio y el plomo son los metales pesados contaminantes más comunes que se encuentran en los efluentes industriales (Calero, Hernáinz, Blázquez, Tenorio y Lara, 2009)

La precipitación química, coagulación, extracción con disolventes, electrólisis, separación por membranas, intercambio iónico y adsorción son los métodos convencionales para la remoción de metales pesados del agua (Calero, et al., 2009). Por otro lado, la tendencia de las investigaciones se centra en buscar métodos de tratamiento alternativos (García, Arnal, Piris, Granados y Sancho, 2014)

Las industrias producen grandes cantidades de efluentes con altas concentraciones de metales pesados tóxicos para el medio ambiente y los procesos que se pueden emplear en cada una de ellas variarán en cuanto a la cantidad, tanto de efluente a tratar, como de la carga contaminante presente. Las características generales de las tecnologías mencionadas se resumen en la tabla 3.

Eccles (1999), declara que los procesos de adsorción sobre carbón activo, electrolisis, intercambio iónico, filtración a través de membrana, precipitación en forma de hidróxidos o sulfuros o extracción con disolventes, presentan ventajas e inconvenientes que tendrá que ser tenidas en cuenta dependiendo de las características del efluente a tratar.

Tabla 3

Características generales de las tecnologías

Tecnología aplicada	Características generales				
	Tolerancia a los cambios de pH	Selectividad a los metales	Influencia de los sólidos en suspensión	Tolerancia a sustancias orgánicas	Niveles de metal óptimos soportables mg/L
Adsorción sobre carbón activo	Baja	Moderada	Muy alta	Pueden inactivar el carbón	< 10
Electrolisis	Alta	Moderada	Baja	Alta	> 10
Intercambio iónico	Baja	Alta	Muy alta	Inactivan la resina	< 100
Filtración por membrana	Baja	Moderada	Muy alta	Intolerancia	> 10
Precipitación por hidróxidos	Alta	Baja	Baja	Alta	> 10
Precipitación por sulfuros	Baja	Depende del pH	Baja	Alta	> 10
Extracciones orgánicas	Media	Alta	Muy alta	Intolerancia	> 100

Nota. Recuperado de (Eccles, 1995)

Por otro lado Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez y Sandoval, (2015) clasificaron las técnicas de tratamiento de metales pesados en convencionales, las cuales son las técnicas que regularmente se aplican para la remoción de estos contaminantes y la siguiente son las no convencionales, que corresponden a procesos innovadores para la remoción de metales en aguas residuales de origen industrial. A continuación, se describen las técnicas convencionales más comunes:

2.4.1. Precipitación química

Entre los tratamientos físico-químicos, el más ampliamente utilizado a nivel industrial es la precipitación química (Eccles, 1995), debido a que es relativamente fácil de operar, de bajo costo, sin embargo, su mantenimiento es de costo elevado debido a una gran cantidad de volumen de lodos (Huisman, Schouten y Schultz, 2006).

La capacidad de eliminación de los metales con este método dependerá de los siguientes factores:

- El pH del medio, la solubilidad y concentración del precipitante.
- La separación del sólido de la disolución acuosa.

Según Melgar (2016), estos factores impiden que se realice una correcta precipitación y por ello este método es poco efectiva más aún cuando el metal se encuentra en concentraciones muy bajas, debido a que se requiere en demasía del agente precipitante para llegar a formar un precipitado, y muchas veces la partícula sólida no tiene estabilidad suficiente para separarse de la disolución. Así también, si en el efluente hay presencia de materia orgánica este método no es efectivo, ya que los compuestos orgánicos de los metales no precipitan.

2.4.2. Intercambio iónico

Este método de tratamiento se explica cómo el proceso de separación física donde los iones intercambiados no se modifican químicamente, además en este método los iones en solución se transfieren a una matriz sólida, liberando iones de la misma carga, pero de distinto tipo (Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez y Sandoval, 2015)

Según Melgar (2016), define este método como un mecanismo de interacción electrostática, por las fuerzas de atracción de Coulomb el cual tiene lugar cuando un ión de una

disolución se intercambia por otro ión de similar signo que se encuentra unido a una partícula sólida inactiva.

Zewail y Yousef (2015) indican que las principales ventajas de este método son la selectividad, se genera menor cantidad de lodos y sobre todo se recupera el valor del metal. Y como parte de las desventajas estaría su elevado coste de instalación, las resinas son vulnerables a la oxidación por agentes químicos y son afectadas por la presencia de iones de magnesio y calcio. (Melgar, 2016).

2.4.3. Membranas de filtración

Las ventajas de este método de tratamiento son las altas eficiencias, requiere poco espacio, es de fácil operación, no obstante, genera una gran cantidad de lodos con contenido metálico. Así también se aplica en procesos para el tratamiento de agua potable, residuales industriales y residuales domésticas en menor medida (Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez y Sandoval, 2015).

Taylor y Wiesner (2002), clasifica las membranas de acuerdo a su peso molecular de corte, material, permeabilidad, solubilidad del soluto, el solvente, superficie y espesor activo de la película, y la carga de su superficie. Algunas técnicas aplicadas con este método son:

Electrodialisis; es una técnica de descontaminación que puede remover componentes iónicos de soluciones acuosas utilizando membranas permeables selectivas en un campo eléctrico constante (Guastalli, et al; 2004). Además, remueve iones contaminados cargados de hasta 0,0001 μm , mediante laminas porosas de resinas de intercambio iónico con una baja permeabilidad relativa para el agua (Taylor y Wiesner, 2002).

Osmosis Inversa; es un proceso de permeabilidad a través de membrana para la separación por difusión controlada, con capacidad de seleccionar elementos de solo 0.0001 mm, lo que le permite una gran cantidad de capacidades de tratamiento (Nemerow y Dasgupta, 1998).

Nanofiltración; es una técnica de tratamiento que utiliza membranas con poros < 1 nm y requiere presiones de funcionamiento en el rango de 10-50 bar.

Estas membranas son capaces de captar especies neutras con peso molecular menor a 200-300 g/mol, y a su vez rechazar iones inorgánicos por un mecanismo de exclusión por tamaño en combinación con las interacciones electrostáticas entre los iones y la membrana cargada, la presión de funcionamiento más baja, mayor flujo y menor consumo de energía en comparación con la osmosis inversa (González, et al; 2006).

2.4.4. Adsorción

La técnica presenta remoción de una amplia variedad de contaminantes, alta capacidad, cinética rápida y selectiva sujetas al adsorbente de lo cual depende su rendimiento, por la estructura física del mismo (Liu y Lee, 2014).

Algunos de los adsorbentes son los carbones activados, arcillas, biopolímeros, Zeolitas, perlas de sílice y plantas o desechos lignocelulósicos (Wan Ngah, et al; 2011), los cuales son generalmente empleados para eliminar colorantes iónicos, metales pesados, materiales radioactivos, contaminantes orgánicos e inorgánicos generados por diferentes tipos de industrias (Osei Boamah, et al; 2015).

Una aplicación de este método es el carbón activado, que ha demostrado ser un adsorbente eficaz para la eliminación de una variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en

los medios acúaticos, debido a sus áreas superficiales porosas de 500 hasta 1.500 m²/g (Karnib, et al; 2014).

Existen dos tipos de adsorción, la fisisorción y quimisorción. La quimisorción comprende un intercambio de electrones entre las moléculas de adsorbato y la superficie del adsorbente dando como resultado una reacción química. Sin embargo, en la fisisorción el adsorbato se encuentra unido debilitadamente a la superficie del sólido por las fuerzas de van der Waals. En la tabla 4, se muestran las diferencias representativas de estos dos tipos de adsorción según la naturaleza de las fuerzas involucradas.

Tabla 4
Diferencias entre fisisorción y quimisorción

Fisisorción	Quimisorción
Enlaces débiles. Interacciones de van der Waals.	Enlaces fuertes de corto alcance (verdaderos enlaces químicos)
Entalpía de adsorción está entre los 10 y 20 Kj/mol.	Entalpía de adsorción se encuentra entre 40 y 400 Kj/mol.
Al incrementar la temperatura, se reduce la adsorción. Es un proceso reversible.	Un incremento en la temperatura puede favorecer la adsorción. Es un proceso irreversible.
La adsorción toma lugar en cualquier punto del adsorbente.	La adsorción se lleva a cabo en puntos específicos en la superficie.
Se lleva a cabo en una monocapa o en multicapa.	Se realiza la adsorción en una monocapa.
No existen reacciones superficiales tales como de neutralización, descomposición, etc.	Pueden darse reacciones superficiales (disociación, catálisis, reconstrucción, etc.).
El adsorbato mantiene su identidad.	El adsorbato cambia su estructura química respecto al precursor.

Nota. Recuperado de Basal et al, 2005; Barrow, G, (1975)

2.5. Bioadsorción

El término bioadsorción es ampliamente empleado para describir aquellos procesos de formación de enlaces entre el metal y componentes celulares, lo que produce la retirada del metal pesado del medio (Vilchez Vargas, 2005).

La materia viva posee una gran capacidad para adsorber y absorber metales pesados, tanto si son preciosos como tóxicos. La técnica de la bioadsorción utiliza este potencial para extraer metales de medios altamente contaminados, bien sea mediante biomasa viva (que es autorrenovable) o muerta (que es ventajosa desde un punto de vista económico). La bioadsorción posee gran capacidad de concentración (miles de veces), no es proceso metabólico, sino pasivo, y se debe distinguir de la bioacumulación tratada en el apartado anterior.

La bioadsorción es menos costosa y admite un amplio rango de condiciones (pH, temperatura, concentración) si se la compara con las técnicas de precipitación, intercambio iónico, adsorción con carbón activado, diálisis u ósmosis inversa (Castillo Rodriguez, 2005).

La bioadsorción es un proceso selectivo a los métodos convencionales de depuración de aguas residuales con metales pesados, el cual hace referencia a un tipo de adsorción, en la que la fase sólida es conocida como bioadsorbente (Izquierdo Sanchis, 2010).

Estos bioadsorbentes son de origen biológico con propiedades de adsorbentes como de intercambiadores de iones, además tienen propiedades con elevadas capacidades de retención de metales, disminuyendo su concentración en la disolución a niveles de ppb ($\mu\text{g}, \text{dm}^{-3}$) (Volesky, 2001).

La bioadsorción se propuso como un método alternativo por su carácter amigable con el medio ambiente, además de su excelente rendimiento y su coste bajo (Zinkus et al., 1998).

La bioadsorción hace uso de económicos biomateriales, llamados también bioadsorbentes, para capturar de forma pasiva y efectiva sustancias orgánicas e inorgánicas de soluciones acuosas (Harikishore Kumar Reddy et al, 2011).

2.5.1. Ventajas e inconvenientes de la bioadsorción

Las ventajas más importantes de la bioadsorción frente a otros tratamientos son:

- Se trata de una tecnología de bajo costo, por el reducido costo de los materiales bioadsorbentes, la escasa necesidad de reactivos y el reducido consumo energético del proceso.
- Presenta una elevada eficacia, especialmente cuando la concentración de metal en el agua residual es baja, situación, por otro lado, en la que las técnicas convencionales se muestran ineficaces.
- Es posible la regeneración de un gran número de bioadsorbentes, pudiéndose utilizar en ciclos sucesivos de adsorción-desorción.
- Puede permitir la recuperación del metal tras el proceso de regeneración en el que se obtiene una solución concentrada en el compuesto de interés.
- Frente a la precipitación, la bioadsorción no genera fangos químicos, y el único residuo del proceso es el bioadsorbente agotado tras sucesivos ciclos de bioadsorción/regeneración.
- Permite la valorización de residuos que se utilizan como bioadsorbentes.
- Al emplearse materiales residuales de diversa procedencia sin tratamiento previo, y en especial sin carbonización previa, el impacto ambiental se reduce considerablemente frente al de los adsorbentes tradicionales como los carbones activados.

Los inconvenientes más importantes con los que se enfrenta esta tecnología son los siguientes (Izquierdo Sanchis, 2010):

- Las técnicas convencionales están ampliamente extendidas y son muy conocidas en diversos sectores industriales, lo que dificulta enormemente su sustitución.
- Las interacciones de los metales de la disolución y de los bioadsorbentes con otros compuestos presentes en las aguas residuales pueden ocasionar cambios en las capacidades de retención, disminuyendo la eficacia del proceso. Por ello, es importante caracterizar adecuadamente las aguas residuales a tratar para evitar interacciones indeseables, y programar adecuadamente los ciclos de operación, para conseguir el máximo aprovechamiento del sistema manteniendo las condiciones de calidad requeridas al efluente.
- La selección de los materiales bioadsorbentes debe realizarse atendiendo a la disponibilidad de los mismos en cantidad y reducido coste para conseguir una aplicación extendida de la bioadsorción a nivel industrial.

2.5.2. Mecanismos de la bioadsorción

El proceso de bioadsorción incluye etapas de transporte como de reacción, en la cual se observan partículas de bioadsorbente en el interior de una columna y la localización de etapas del proceso (LeVan y col., 1997).

2.5.2.1. Etapas en el seno de la disolución

En esta etapa la fuerza impulsora es la diferencia de concentración en la interfaz sólido-líquido que rodea cada partícula y que depende de las condiciones hidrodinámicas externas.

Mezcla o ausencia de ésta, puede dar lugar a un flujo global no uniforme, provocado por la existencia de una distribución de velocidades y la aparición de zonas muertas en el interior del lecho (Izquierdo Sanchis, 2010).

2.5.2.2. *Etapas en el interior de la partícula*

En este proceso de bioadsorción se realiza una difusión a través de los poros donde el adsorbato se transporta por el interior de poros de gran tamaño o macroporos. La gradiente de concentración en el interior de los poros es la fuerza impulsora.

2.5.2.3. *Efecto de la temperatura*

Cuando el proceso se da un aumento de la temperatura puede causar un cambio en la textura del sorbente y un deterioro, provocando una pérdida de su capacidad de sorción (Tejada, 2013). Así también, se indica que la adsorción se incrementa a bajas temperaturas ya que el proceso de adsorción es de naturaleza exotérmica, por lo tanto, de acuerdo al principio de Le Chatelier a bajas temperaturas el equilibrio de adsorción se verá beneficiado.

2.5.2.4. *Efecto del pH*

La naturaleza de la superficie adsorbente como de la distribución de las especies químicas del metal en la solución acuosa, serán factores que intervendrán en la adsorción. El valor del pH de la fase acuosa es el factor principal en la adsorción de cationes como de aniones. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4.5, la adsorción de aniones prefiere un valor entre 1.5 y 4.

2.5.2.5. *Efecto del tamaño de partícula.*

La adsorción tiene lugar fundamentalmente en el interior de las partículas, sobre las paredes de los poros en puntos específicos, es decir que mientras más pequeña sea la partícula, esta tendrá mayor área superficial, o sea mayor área de la superficie interna para interactuar con el adsorbente.

2.5.2.6. *Efecto de la concentración inicial.*

La concentración del adsorbato influye en la especiación del adsorbato y, de esta manera, en su disponibilidad para ser captado por el adsorbente.

2.5.2.7. *Efecto de cantidad de adsorbente.*

La superficie disponible para la adsorción y la cantidad de posibles grupos funcionales superficiales disponibles para captar al adsorbato, están directamente relacionados con la cantidad de adsorbente.

2.6. Escamas de pescado

Claus (como se citó en Miranda y Escala, 2002) indica que las escamas son láminas duras y a su vez flexibles, que trazan un gran número de líneas concéntricas y de estrías radicadas, las cuales forman el exoesqueleto de los peces.

Asimismo, Rojo (como se citó en Miranda y Escala, 2002) añade de manera técnica, que estos son “huesos tegumentarios laminares de origen dérmico incluidos en una bolsa epidérmica de tejido conjuntivo fibrilar.” Estas se encuentran en tres zonas del cuerpo de los peces, dorso anterior, dorso posterior y zona media de la línea lateral, ver figura 1.

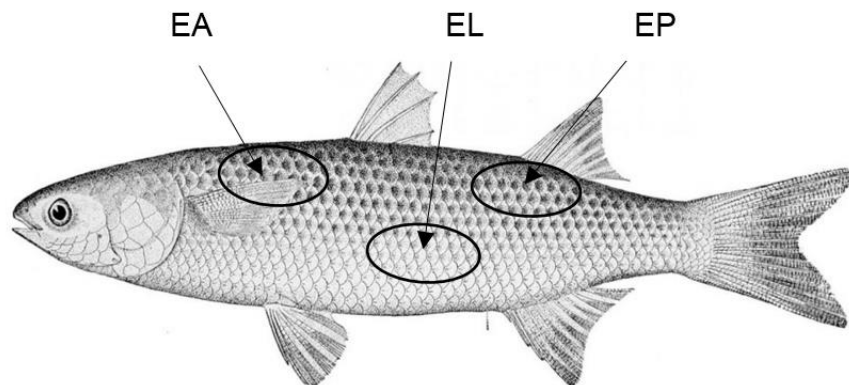


Figura 1. Zonas corporales de escamas en pez lisa – Mugil cephalus. EA: Dorso anterior, EL: Línea lateral, EP: Dorso posterior

Las escamas de la mayoría de los peces óseos son cicloides, ctenoides o espinoides, y algunos peces tienen una mezcla de diferentes tipos de escamas (Heemstra y Heemstra, 2004). De acuerdo a su forma, las escamas se sub-clasifican en cuatro grupos: Placoides, Rombicos, Cicloide, Ctenoide. Ver figura 2.

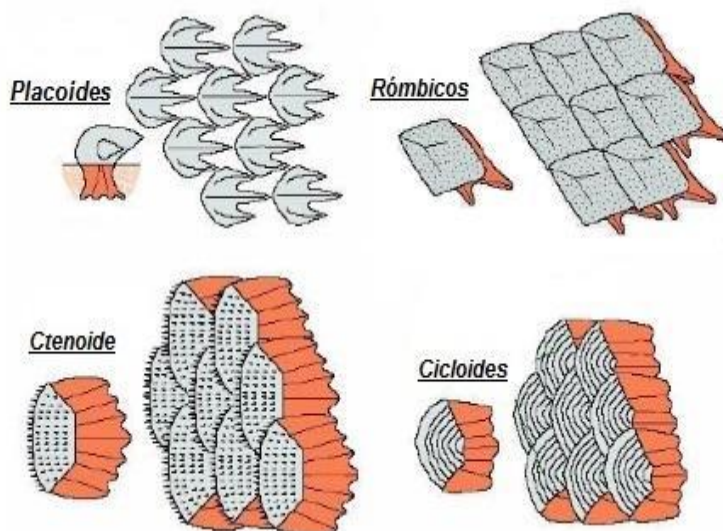


Figura 2. Tipos de escamas de peces representativos

La escama del pescado constituye parte de la biomasa aprovechable, es un recurso natural de material orgánico y se encuentra en grandes cantidades en los desechos de la industria pesquera (Cuadros, 2007).

Según la Food and agriculture organization of the united nations, (2014) señala que del 100% de la producción mundial de recursos pesqueros (157 969 millones de toneladas), 13.8% (21700 toneladas) son desechos no alimentarios como esqueletos, vísceras y escamas y el 86.2% son para consumo humano, mientras que aproximadamente el 5% del peso vivo del pez lo representa las escamas (Wang, Lu y Chie, 2008).

2.6.1. Características físicas y químicas

Diferentes autores indican que las escamas de pescado son un subproducto altamente proteico, (Gómez y Benítez, 2011) afirmaron que contienen fosfato de calcio (hidroxiapatita) y el carbonato de calcio, sustancias inorgánicas de potencial uso en la alimentación animal. Además, en estado crudo evaluado en cachama y tilapia contiene 40% de calcio y 10% de fósforo.

Ikoma, Mann, Tanaka, Walsh y Mann, (2003) señalan que las escamas de pescado están químicamente compuestas por fibras de colágeno y por fosfato de calcio (hidroxiapatitas) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$.

2.6.2. Como bioadsorbente

Las escamas de peces se componen de dos capas, la capa ósea superior y la placa fibrilar inferior. Se sabe que la placa fibrilar está compuesta de múltiples capas de láminas, cada una de las cuales está llena de fibras de colágeno paralelas y una matriz orgánica (Onozato y Watabe, 1979).

Numerosos precipitados que contienen calcio se localizaron dentro de los fibroblastos, así como en los osteoblastos. Parece más probable que los fibroblastos secreten, además del colágeno y el material de la matriz, iones de calcio para ser utilizados para la calcificación de las placas fibrilares (Onozato y Watabe, 1979).

Las escamas están constituidas por colágeno, macromoléculas con capacidad de quelar algunos elementos metálicos, que hace de la escama una fuente potencial de materia prima para la preparación de un adsorbente natural hasta niveles no detectables, e hidroxiapatita; permitiendo el tratamiento de las aguas residuales, antes de su descarga en fuentes receptoras (Cuadros, 2007).

2.6.3. *Mugil cephalus*

Mugil cephalus es el nombre científico de los peces comúnmente llamados lisa, cachamba, liza cachambiza, lisa común, utempe, cachambra. En la tabla 5, se presenta la taxonomía de esta especie.

Tabla 5
Taxonomía pescado lisa

Reino	Animalia
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Superclase	Osteichthyes
Clase	Actinopterygii
Subclase	Neopterygii
Infra clase	Teleostei
Superorden	Acanthopterygii
Orden	Mugiliformes
Familia	Mugilidae lisas
Genero	Mugil
Especies	<i>Mugil cephalus</i>

Nota. Recuperado de Wayne (2004).

2.6.3.1. Aspectos morfológicos

Según Ramírez et al. (2006) indica que la lisa es una especie de pez que está distribuida en aguas costeras continentales de Europa, Asia, África, Australia, América y Polinesia. Su longitud está entre 20 a 60 cm y su peso llega hasta los 8 kg; su cuerpo es fusiforme, alargado, su dorso es plano suavemente curvo y ancho, tiene la cabeza pequeña redondeada, pero ancha, lo cual da origen a su nombre (cephalus).

El cuerpo del pez *Mugil cephalus* está cubierto con escamas grandes de color plateado, su color en la parte superior es más oscuro, con tonalidades verde-oliva, grisáceas y de color blanco o gris claro en la parte inferior, con rayas longitudinales generalmente bastante apreciables. Las escamas son de tipo ctenoideas y pseudocicloideas según (Ruiz y Marchant, 2004).

Se alimenta de lama del fondo del mar y objetos incrustados en el lecho marino, así como de algas, sardinas y pejerreyes (Oliver, 1943) o de pequeños crustáceos y diatomeas (Mann, 1954).

2.6.3.2. *Características fisicoquímicas*

Por otra parte, Basualdo y Delgado, (2019) realizaron un análisis para determinar la composición fisicoquímica de las escamas de pescado lisa, ver los resultados en las tablas 6 y 7.

Tabla 6

Características fisicoquímicas de escamas de pescado lisa

Características fisicoquímicas	Media \pm DE
Acidez (g de ácido cítrico/100g)	015 \pm 0.003
pH (20°C)	6.84 \pm 0.036
Sólidos solubles (°Brix)	0.81 \pm 0.015

Tabla 7

Composición químico proximal de las escamas de pescado lisa en 100g de muestra

Componentes	Media \pm DE
Contenido de humedad	54.84 \pm 0.34
Contenido de Proteína	23.26 \pm 0.19
Contenido de ceniza	21.21 \pm 0.12
Contenido de carbohidratos	0.31 \pm 0.008

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación fue ejecutada en el distrito de Lurigancho, en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión (UPeU), en el Km 19.5 de la Carretera Central, Lima - Perú. El análisis de microscopía electrónica de barrido se hizo en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Y los análisis químicos en los laboratorios Certimin S.A. y Sociedad de Asesoramiento Técnico S.A.C. Ver figura 3.

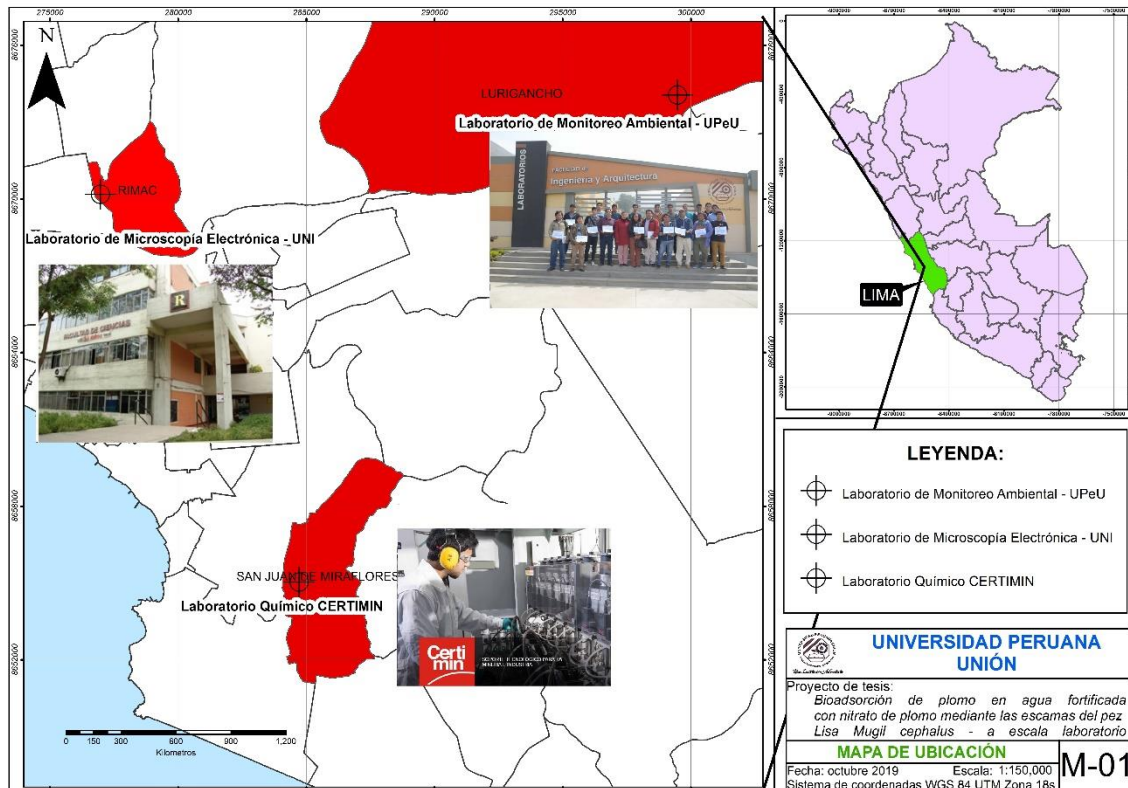


Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio

3.2. Tipo de Investigación

El tipo de investigación desarrollada en el presente trabajo es cuantitativa, debido a que se utiliza información cuantificable (medible) y porque se requiere de hacer experimentos con el bioadsorbente donde se emplea datos numéricos en estadística para obtener explicaciones más fidedignas, y determinar las variables independientes que influyen en el tratamiento de aguas en estudio.

Con los años la investigación cuantitativa ha desarrollado programas electrónicos que otorga al investigador la facilidad de tabular datos. Según Hernández y Mendoza (2018) dentro de la investigación cuantitativa, las pruebas estadísticas tienen un rol importante para determinar diferencias significativas entre mediciones o grupos, además que ofrecen resultados más objetivos y precisos.

3.3. Diseño de la investigación

El diseño de investigación empleado en el presente trabajo es experimental porque se requirió la manipulación de variable dependiente (Remoción de iones de plomo) e independientes (pH de solución, RPM, Dosis de escamas, Tiempo de agitación) con el fin de generar resultados concluyentes.

El diseño de experimentos empleado en la investigación fue un Diseño factorial fraccionado 2^{k-1} , detallado en el inciso 3.7 del presente informe.

Se trabajó en 2 etapas, en la primera para determinar la concentración de plomo de la muestra de un cuerpo receptor minero donde el resultado salió bajo por lo que se procedió a fortificar el agua con nitrato de plomo; y en la segunda etapa se identificaron las variables que influyeron en la adsorción de plomo con escamas del *Mugil cephalus* en las pruebas realizadas a escala de laboratorio.

Para conseguir una adecuada remoción de los iones de plomo, se utilizó como bioadsorbente las escamas del *Mugil cephalus* en cantidades variables dentro de condiciones estables. Para ello se usó el equipo de pruebas jarras en donde se simula el proceso de mezcla a escala real.

3.4. Materiales, Equipos y Reactivos

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron algunos materiales, equipos y reactivos que se detallan en las siguientes tablas 8 y 9.

Tabla 8

Materiales y reactivos usados en los ensayos de laboratorio


Materiales	Cant	Reactivos
Vaso precipitado (2000 ml, 1000 ml, 100 ml)	12	Ácido clorhídrico - HCl
Crisol	3	Nitrato de plomo - Pb (NO ₃) ₂
Fiola (1000 ml, 200 ml, 100 ml)	2 c/u	Ácido nítrico - HNO ₃
Micropipeta (1000 µl)	2	
Espátula	2	
Bolsas ziploc (1 kg)	12	
Probeta (1000 ml)	11	
Probeta (100 ml)	5	
Pipeta (10 ml)	2	
Tamiz (5 mm, 1 mm, 0.5 mm, 180 µm, 90 µm)	1 c/u	
Placa petri	11	
Cucharilla metálica	2	
Baldes (20 L, 5 L)	1 c/u	
Coladores	2	
Máquina de moler corona	1	
Varilla de vidrio	2	

Tabla 9
Equipos empleados en la investigación

Equipos	Marca	Modelo	Serie
Conductímetro	HANDYLAB	HL 200	D-55122
PH-metro	HANNA	HI 9025	
Oxímetro <i>Dissolved Oxygen Meter</i>	HANNA	HI 9146	D0085103
Turbidímetro y clorímetro <i>Turbidity y free / Total Chlorine</i>	HANNA	HI 83414	13020203
Floculador (test de jarras)	LOVIBOND	ET 720	0309
Balanza Analítica	DHAUS	ADVENTURER -PRO	8030111002
Horno secador de bandeja con aire forzado	ESPACIO y TIEMPO	HSB 01	201803
Mufla	WISD	Ex-OS	1007891576001
Molino de hojas	TECNAL	Willye TE-650	
Microscopio electrónico de barrido	HITACHI	UHR FE-SEM	SU8230

Para la bioadsorción de plomo se utilizó un bioadsorbente, las escamas del pescado Lisa descritos en la tabla 10, adquiridas en el terminal pesquero de Villa María del Triunfo, las cuales fueron acondicionados y preparados en las instalaciones del laboratorio de química de la FIA-UPeU según se detalla más adelante.

Tabla 10
Bioadsorbente utilizado en la remoción de plomo

Nombre común	Nombre científico	Descripción
Escamas del pescado Lisa		
	Escamas del pescado Lisa <i>Mugil cephalus</i>	Para obtener el adsorbente se utilizaron las escamas medianas de 50 kg de pescado lisa fresco, luego secarlo y molerlo para obtener partículas finas en polvo.

3.5. Métodos y procedimientos aplicados

3.5.1. Recolección de la muestra y análisis físico-químico

3.5.1.1. Primera etapa

El muestreo se realizó de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado mediante la R.J. N° 010-2016-ANA.

3.5.1.1.1. Premonitoreo

Se realizó la preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección, así como la seguridad en el trabajo de campo. Para la codificación del punto de muestreo, se registró las coordenadas UTM en el sistema WGS84, haciendo uso del GPS ver tabla 11.

Tabla 11

Coordenadas del punto del muestreo

Código	Este	Norte	Altitud
MA-01-01	376657	8717332	4499 m.s.n.m

3.5.1.1.2. Monitoreo

Se tomó una muestra compuesta de 1 litro en la quebrada del canal de agua Duvaz y Morococha (figura 4), perteneciente a la Compañía Minera Argentum S.A.



Figura 4. Quebrada del canal de agua Duvaz y Morococha

En el lugar in situ se midieron los parámetros de campo bajo la siguiente metodología (ver tabla 12).

Tabla 12
Metodología para la medición de los parámetros de campo

Parámetros de campo	Metodología de medición
Temperatura	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017 Part 2550 B. Temperature. Laboratory and Field Methods.
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 23 rd Ed. 2017. Part-4500-H+B. pH value. Electrometric Method.
Oxígeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part 4500 O G. Oxygen (Dissolved).
Conductividad Eléctrica	SMEWW APHA-AWWA-WEF 23 rd. 2017. Part 2510 B. Conductivity Laboratory Method.
Turbiedad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part-2130 B, Turbidity. Nephelometric Method.
Temperatura de aire	Protocolo de parámetros meteorológicos.

La preservación de la muestra se hizo con 20 gotas de HNO₃ (1:1) 7.14 equivalentes/litro (7.14 N) o 32.5 %, se rotuló y conservó las muestras en cooler con ice pack. Finalmente se llenó la cadena de custodia.

3.5.1.1.3. *Posmonitoreo*

La muestra MA-01-01 fue trasladada al laboratorio Certimin SA para el análisis de plomo. El laboratorio Certimin S.A es un laboratorio acreditado por INACAL, ver certificado en anexo N° 16. Así también el laboratorio emitió el Informe de Ensayo N° MAY1124.R19, cuyos resultados se visualiza en anexo N° 11.

3.5.1.2. Segunda etapa

Debido a que la concentración de plomo del punto de muestreo de la quebrada del canal de agua Duvaz y Morococha saliera baja (ver tabla 13), se procedió a realizar los experimentos a escala laboratorio fortificando agua destilada con nitrato de plomo para somerlos a tratamiento de bioadsorción con escamas del *Mugil cephalus*. Ya que este tipo de tecnología funciona mejor cuando las concentraciones de plomo son más elevadas y así se visualiza un alto porcentaje de remoción (Quispe, 2017).

Tabla 13
Parámetros de campo punto de muestreo

Muestra	Temperatura (°C)	pH (Unidad de pH)	Conductividad eléctrica (µmho/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del aire (°C)	Turbidez (UNT)	Plomo total (mg/L)
MA-01-01	10.7	2.64	535	8.25	7	1.77	0.02

3.5.2. Obtención y preparación del bioadsorbente

A continuación, se muestra el diagrama de la obtención y preparación del bioadsorbente

figura 5.

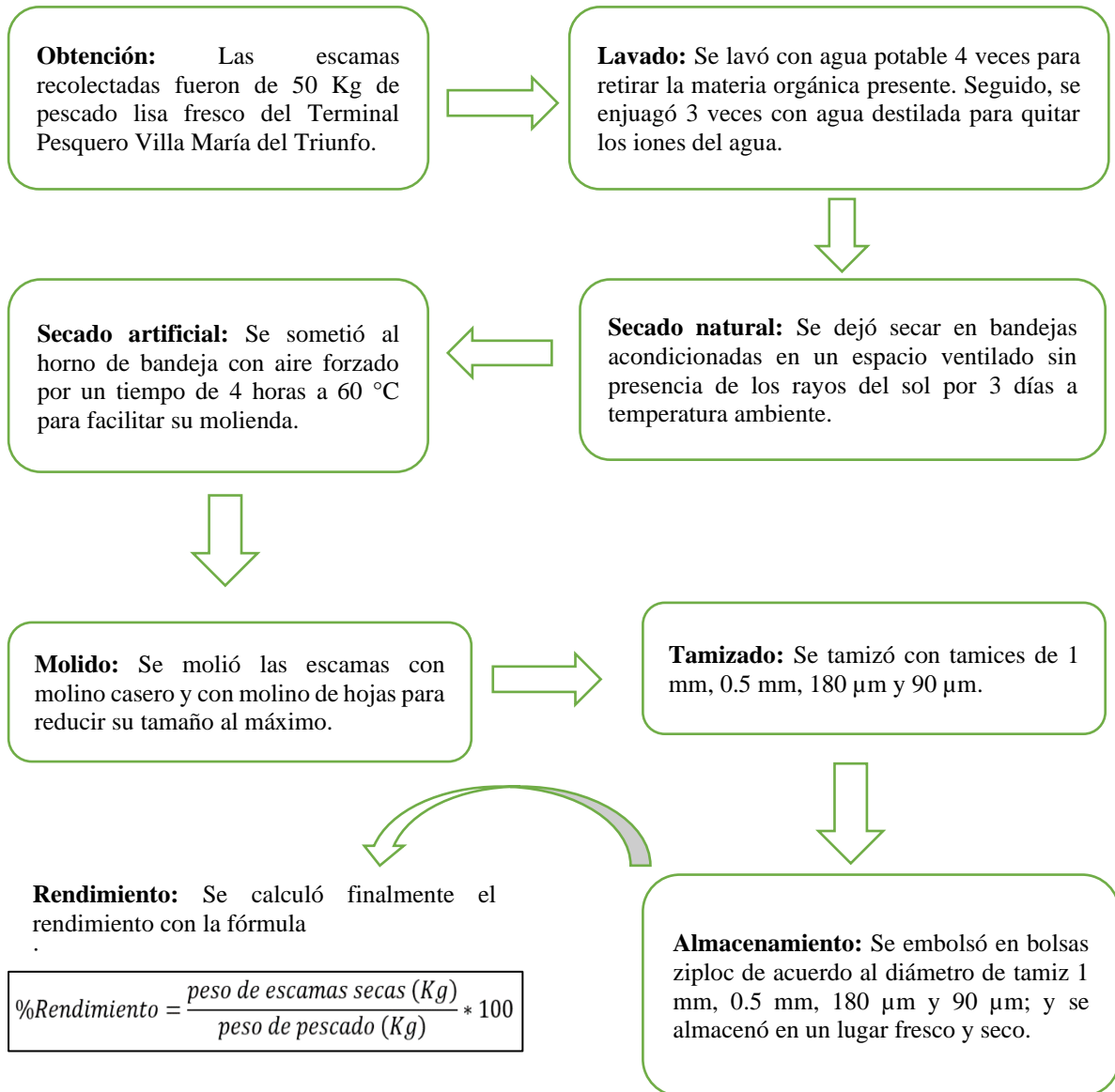


Figura 5 Diagrama de obtención y preparación del bioadsorbente

3.5.2.1. *Obtención del bioadsorbente: Escamas del Mugil cephalus*

Las escamas fueron recolectadas de 50 Kg aproximadamente de pescado lisa fresco del Terminal Pesquero Villa María del Triunfo, figura 6.



Figura 6. Terminal Pesquero Villa María del Triunfo

3.5.2.2. *Lavado*

Se lavaron con agua potable 4 veces para retirar la materia orgánica presente. Seguido, se enjuagó 3 veces con agua destilada para quitar los iones del agua, figura 7.



Figura 7. Lavado de las escamas del *Mugil cephalus* en el laboratorio

3.5.2.3. *Secado Natural*

Se dejó secar en bandejas acondicionadas en un espacio ventilado sin presencia de los rayos del sol por 3 días a temperatura ambiente. Este secado ayudó a quitar las gotas de agua que quedaron del lavado, figura 8.



Figura 8. Secado natural de las escamas del *Mugil cephalus*

3.5.2.4. *Secado artificial*

Después del secado natural, las escamas aún tenían algo de humedad por lo que se sometió a un secado artificial al horno de bandeja con aire forzado por un tiempo de 4 horas a 60 °C para facilitar su molienda, figura 9.



Figura 9. Secado artificial de las escamas al horno de bandeja con aire forzado

3.5.2.5. *Molido*

Se molió las escamas con molino casero y con molino de hojas para reducir su tamaño al máximo, figura 10.



Figura 10. Molienda de las escamas. A: molino casero; B: molino de hojas

3.5.2.6. *Tamizado*

Fueron tamizados con tamices de 1 mm, 0.5 mm, 180 μm y 90 μm . Figura 11.



Figura 11. Tamizado de las escamas

3.5.2.7. Almacenamiento

Fueron embolsadas en bolsas ziploc de acuerdo al diámetro de tamiz 1 mm, 0.5 mm, 180 μm y 90 μm ; y almacenadas en un lugar fresco y seco. El rendimiento de las escamas fue: Ver tabla 14.

Tabla 14

Porcentaje de rendimiento de escamas

Peso de pescado lisa (kg)	Peso de escamas secas (kg)	Rendimiento (%)
50	0.780	1.56

El rendimiento es igual a:

$$\%Rendimiento = \frac{\text{peso de escamas secas (kg)}}{\text{peso de pescado (kg)}} * 100 \quad (1)$$

3.5.3. Caracterización de escamas del *Mugil cephalus*

3.5.3.1. Parámetros físicos

Los parámetros físicos como la humedad y el porcentaje de cenizas se analizaron por triplicado en el laboratorio de Química de la UPeU – Lima. Mientras que la morfología y tamaño de escama fueron caracterizadas por microscopía electrónica de barrido en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

3.5.3.1.1. *Humedad*

El porcentaje de humedad de las escamas se determinó por el método de secado en estufa, tomando algunas pautas del AOAC 31.005: 1984 y de los químicos Hart F y Fisher H. El procedimiento de análisis a realizar fue el siguiente:

- Pesar 3 crisoles de porcelana por separado en una balanza analítica, codificar y registrar masas.
- Pesar 2.00 g de escama seca (a T° ambiente) y entera en papel aluminio, codificar y registrar masa, realizarlo por triplicado.
- Vaciar las muestras pesadas a los crisoles y secar en estufa a 70 °C por un tiempo de 4 horas.
- Retirar los crisoles de la estufa con pinzas de madera y enfriar en el desecador durante 20 min.
- Después de enfriar, pesar los 3 crisoles para calcular la pérdida de humedad de las escamas mediante la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{(P_c + P_{mh}) - (P_c + P_{ms})}{P_{mh}} * 100 \quad (2)$$

Donde:

% H = Es el porcentaje de pérdida de humedad de las escamas

Pc = masa del crisol (g)

Pmh = masa de la escama húmeda en g (aprox.2g)

Pms = masa de la escama seca en g

- Luego de calcular el porcentaje de pérdida de humedad de la escama, se hallará el porcentaje de contenido de agua presente en las escamas mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de agua} = 100\% - \%H \quad (3)$$

3.5.3.1.2. Cenizas

El porcentaje de cenizas se determinó por el método general, considerando los criterios del AOAC 942.05:2016. El procedimiento de análisis a realizar fue el siguiente:

- Pesar 3 crisoles de porcelana por separado en una balanza analítica, codificar y registrar masas.
- Pesar 2 g de escama triturada en mortero y secada a temperatura ambiente en papel aluminio, realizarlo por triplicado luego codificar y registrar masas.
- Vaciar las muestras pesadas a los crisoles y calcinar en mufla a 600 °C por un tiempo de 5 horas. Tener presente que el tiempo de calcinación comienza cuando dentro de la mufla se alcance los 600 °C.
- Retirar los crisoles de la mufla con pinzas de madera. Recordar que, una vez cumplido las 5 horas en la mufla, la temperatura interna disminuirá lentamente hasta alcanzar una temperatura ambiente. Es por ello, que no es necesario de enfriar en un desecador.
- Después de retirar los 3 crisoles, se procederá a pesarlos para calcular el porcentaje de contenido de materia inorgánica en las escamas, mediante la siguiente formula:

$$\%Cenizas = \frac{C_f}{C_i} * 100$$

$$C_f = \text{Masa final que sale de la mufla} - \text{masa del crisol} \quad (4)$$

Donde:

% Cenizas = *contenido de materia inorgánica presente en las escamas de pescado*

C_i = masa inicial de la muestra en g (aprox. 2 g)

C_f = masa final de la muestra calcinada en g

3.5.3.1.3. *Morfología y Granulometría*

La morfología y diámetro de las escamas se determinó por el método de microscopía electrónica de barrido en la Universidad Nacional de Ingeniería. Para ello se empleó el microscopio electrónico de barrido HITACHI SU8230 y 1 g de escama tamizada a 90 μm .

3.5.3.2. *Parámetros químicos*

Los análisis de los parámetros químicos como: calcio, magnesio y proteína de nitrógeno se ejecutaron en el laboratorio SAT S.A.C. Para ello, se utilizó 126 gramos de escama con diámetro > 180 μm . Los métodos de análisis se describen en la tabla 15.

Tabla 15

Métodos de análisis para los parámetros químicos de las escamas

Parámetro	Metodología de medición
Calcio (Ca)	AOAC 985.35, 20 th. Ed. (2016). Minerals in infant Formula, Enteral products and pet food. Atomic absorption method (método modificado).
Magnesio (Mg)	AOAC 985.35, 20 th. Ed. (2016). Minerals in infant Formula, Enteral products and pet food. Atomic absorption method (método modificado).
Nitrógeno (N)	AOAC 984.13 (2016) Protein (crude) in animal feed and pet food. Cooper Catalyzt Kjeldahl Method.

3.5.4. Preparación del agua fortificada con plomo y ajuste del pH

3.5.4.1. Preparación del agua fortificada

La concentración de plomo (Pb) para los ensayos de bioadsorción con las escamas se fortificó a 30 mg/L. Para ello, se preparó una solución patrón de 200 mg/L de Pb ver figura 12. A partir de esta solución se realizó la disolución correspondiente. Para esto, se empleó los siguientes cálculos:

Datos:

Masa molar del Pb: 207.2 g/mol

Masa molar del $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$: 331.2 g/mol

$$1 \text{ g Pb} * \left(\frac{1 \text{ mol Pb}}{207.2 \text{ g Pb}} \right) * \left(\frac{1 \text{ mol Pb}(\text{NO}_3)_2}{1 \text{ mol de Pb}} \right) * \left(\frac{331.2 \text{ g Pb}(\text{NO}_3)_2}{1 \text{ mol Pb}(\text{NO}_3)_2} \right)$$
$$= 1.598 \text{ g Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ tiene } 1 \text{ g de Pb}$$

$$\therefore 1 \text{ g de Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow "x" \text{ g de Pb} \rightarrow \text{tiene } 0.626 \text{ g de Pb}$$

Se calculó los mg de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ que se necesitaba para obtener una solución de 200 mg/L de Pb.

$$1 \text{ mg Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow 0.626 \text{ mg Pb}$$
$$"x" \rightarrow 200 \text{ mg Pb}$$
$$\therefore x = 319.5 \text{ mg de Pb}(\text{NO}_3)_2$$

Por lo tanto, se usó 0.3195 g de nitrato de plomo [$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$] para disolverlo en 1 litro de agua destilada y obtener 200 mg/L de plomo (ver figura 12).

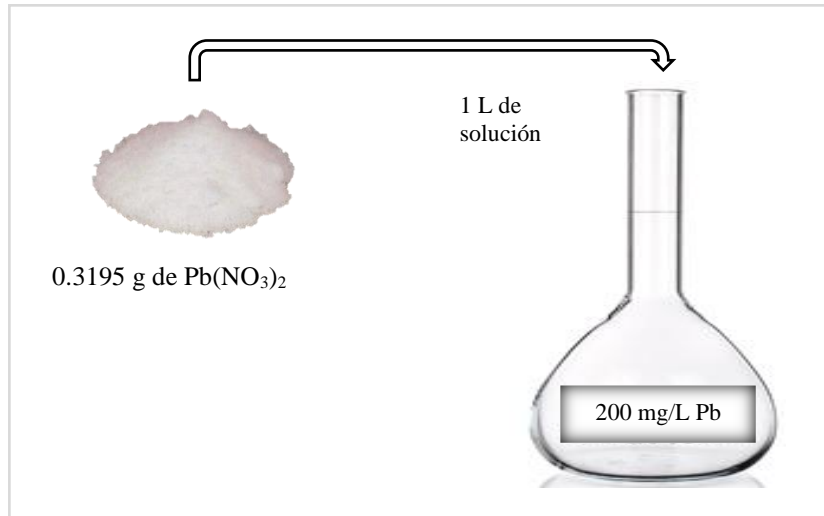


Figura 12. Preparación de la solución patrón de plomo

Una vez finalizada la preparación de la muestra patrón se procedió a diluirlo en 11 vasos precipitados (500 ml-c/u) de acuerdo al diseño estadístico de factorial fraccionado, para obtener la concentración de ensayo que son 30 mg/L de Pb. La dilución se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad (5)$$

Donde:

C_1, V_1 , es la concentración y volumen de la solución patrón; C_2, V_2 , concentración y volumen de la solución diluida. Reemplazando:

$$\frac{200 \text{ mg}}{L} * X = \frac{30 \text{ mg}}{L} * 5.5 L$$

$$X = 0.825 L = 825 \text{ ml}$$

Por lo tanto, se tomó 825 ml de la muestra patrón de 200 mg/L y se enrasó con agua destilada hasta los 5.5 litros para obtener 11 vasos precipitados de 500 ml c/u a una concentración de 30 mg/L por cada vaso de plomo (ver figura 13).

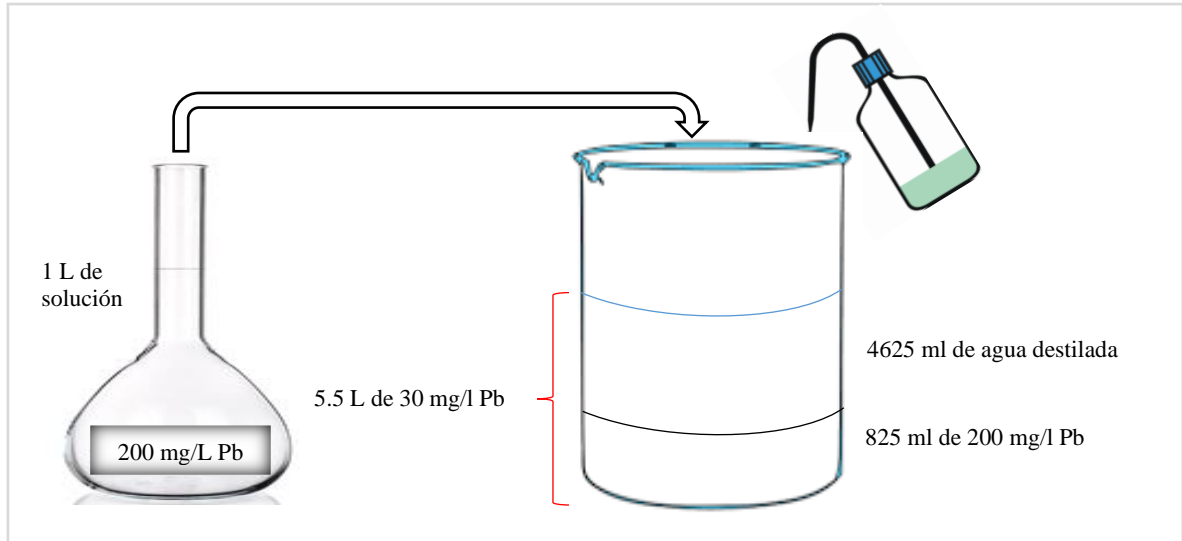


Figura 13. Disolución de 200mg/L a 30mg/L Pb

Antes de los ensayos con la prueba de jarras y las escamas del *Mugil cephalus*, se muestreo por duplicado la solución de plomo que se preparó a 30 mg/L, con el propósito de garantizar su concentración correcta y tener una concentración inicial antes del tratamiento de bioadsorción. Para ello, se hizo el análisis de plomo total en el laboratorio Certimin SA por el método ver tabla 16.

Tabla 16
Método para análisis de plomo total

Parámetro	Metodología de medición
Metales Totales por ICP OES	EPA. Method 200.7. Revisión 4.4 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma- Atomic. Emission Spectrometry.

3.5.4.2. Preparación de HCl y ajuste de pH

Para regular el pH del agua fortificada se utilizó el ácido clorhídrico (HCl) con un 30% de pureza, ver figura 14. Debido a su alta concentración se realizó una dilución en una fiola de 150 ml al 2% para emplearlo en los tratamientos. Para la dilución se empleó la siguiente fórmula:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C_1, V_1 , es la concentración y volumen del ácido clorhídrico al 30%; C_2, V_2 , concentración y volumen de la solución diluida. Reemplazando:

$$30\% * X = 2\% * 150 \text{ ml}$$

$$X = 10 \text{ ml}$$

∴ Se tomó 10 ml de HCl al 30% y se enrasará con agua destilada hasta 150 ml para obtener una concentración de 2%.

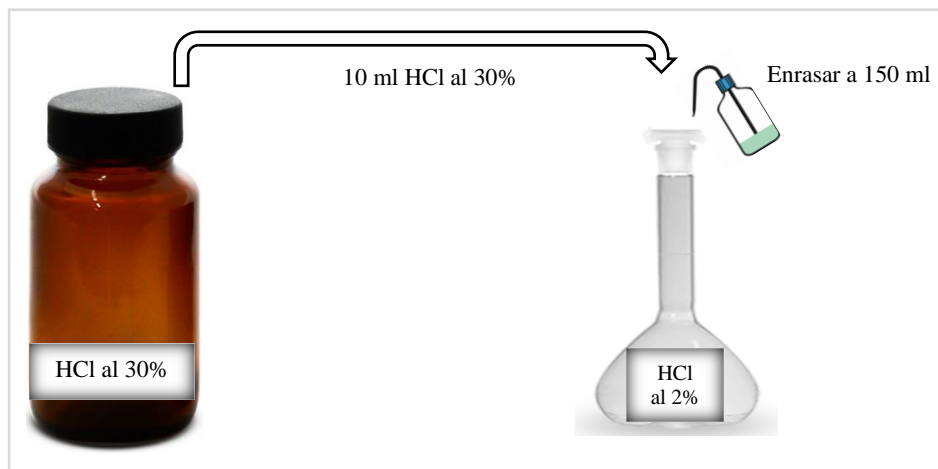


Figura 14. Preparación del HCl al 2%

3.5.5. Tratamientos de bioadsorción (prueba de jarras)

Los tratamientos de bioadsorción con escamas para la remoción del plomo se realizaron con la prueba de jarras. A continuación, se explica el procedimiento:

Primero, se preparó los equipos y materiales para los tratamientos, como: Conductímetro, PH-metro, Oxímetro y Turbidímetro. Del mismo modo, se alistaron los 11 vasos precipitados de 1000 ml para los ensayos de remoción iones de plomo. Así como otros materiales que sirvieron para mezclas y lavado de utensilios.

Segundo, se pesaron en placas petri el material adsorbente (escamas) los siguientes valores: 4, 5 y 6 gramos.

Tercero, se midió y ajustó el pH del agua fortificada con el HCl al 2% los siguientes valores: 2.5, 3 y 3.5. Para el ajuste del pH se empleó una micropipeta de 1000 μ l.

Cuarto, se codificó y rotuló los vasos precipitados de acuerdo a los 11 tratamientos; habiendo realizado la combinación de variables: peso de escamas, pH de la solución, tiempo y RPM.

Quinto, se mezcló con una varilla de vidrio poco a poco los 500 ml de solvente con el soluto (escamas) en un vaso precipitado de 1000 ml hasta que se homogenice.

Sexto, se colocaron los vasos precipitados en el test de jarras y se programaron los tiempos y RPM para su mezcla. Una vez finalizado el tiempo de contacto de las corridas de todos los vasos, se dejó reposar durante 30 min, para permitir la sedimentación de la fase sólida.

Séptimo, se filtró cada vaso precipitado el volumen sobrenadante utilizando papel filtro Whatman (filtración lenta) en una probeta con la ayuda de un embudo de vidrio.

Octavo, se midieron los parámetros de campo: temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y turbiedad según la tabla 8.

Noveno, se enjuagó tres veces cada envase de Certimin SA con la muestra, para luego agregar 20 gotas de HNO₃ (1:1) a cada frasco para su preservación, se rotularon y conservaron las muestras en cooler con ice pack.

Décimo, se llevaron las muestras al laboratorio Certimin SA, para su análisis mediante el siguiente método acreditado por INACAL: EPA. Method 200.7. Revisión 4.4 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

3.6. Variables de estudio

3.6.1. Variables Dependientes e Independientes

- Variables dependientes: % Remoción de plomo.
- Variable independiente: pH de solución, RPM, Dosis (g), Tiempo (min).

3.6.2. Operacionalización de variables

Tabla 17

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Bioadsorción de plomo con escamas de lisa (<i>Mugil cephalus</i>)	Es un proceso que utiliza biomasa viva o muerta, para remover iones metálicos de un medio líquido.	pH de solución	pH de solución de 2.5, 3, 3.5
		Revoluciones por minuto en Test prueba de jarras (rpm)	RPM de 220,230, 240
		Tiempo de sedimentación (min)	Tiempo de 27, 30, 33 min
		Dosis de la escama (g)	Dosis de 4 gr, 5gr, 6 gr
% Remoción de plomo	Es la cantidad removida de plomo	Diferencia de Concentración inicial y final de plomo	Límite máximo Permisible D.S N° 010-2010-MINAM – Plomo total = 0.2 mg/L

El porcentaje de Remoción de plomo se realizó en función a la diferencia de concentración inicial y concentración final de plomo, así también para la evaluación de la eficiencia de bioadsorción con escamas de lisa *Mugil cephalus*, se tomará como línea base de comparación y referencia al Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Límites máximos permisivos para la descara de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, siendo el LMP 0.2 mg/L para plomo total.

3.7. Diseño de experimentos

En las etapas de inicio de una investigación es frecuente que se estudie muchos factores, sin embargo, para experimentar con esta cantidad es necesario una estrategia que permita disminuir de manera importante el número de tratamientos experimentales. Los diseños factoriales fraccionados permiten experimentar de este modo, su teoría se basa en una jerarquización de los efectos, donde los efectos principales son más importantes, seguidos por las interacciones dobles, luego las triples, cuádruples, etcétera. (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Según Castaño y Domínguez (2010) este tipo de diseño permite aplicar sólo una parte o fracción de todos los tratamientos, logrando que la fracción seleccionada cree información suficiente para estimar los efectos de mayor interés para el investigador. De esta forma resolver el problema de gastos de recursos económicos y tiempo que se presentan al tener gran cantidad de factores.

El diseño factorial fraccionado fue aplicado para identificar los parámetros en la remoción de Plomo. De acuerdo con Montgomery (2004), el diseño 2^{k-n} con puntos centrales, que consta 4 factores totalizando de 11 tratamientos (Tabla 17), el diseño es de particular utilidad en las etapas iniciales del trabajo experimental debido al menor número de corridas que proporciona. Por consiguiente, estos diseños son usados ampliamente en los experimentos de tamizado o selección de factores.

Los puntos centrales tienen como objetivo verificar las significancias de la curvatura y las interacciones de sus factores. Pulido y De la Vara Salazar (2008) mencionan que las repeticiones en el punto central detectan la posible presencia de curvatura en al menos uno de los factores objeto de estudio, y la presencia de curvatura es considerada como efectos cuadráticos.

Montgomery (2004) indica que el supuesto de la linealidad de los efectos de los factores es una preocupación potencial en el uso de diseños factoriales fraccionados de dos niveles y puntos centrales. Por lo tanto, la aplicación de la curvatura en el análisis de varianza será útil para verificar esta relación. Por otro lado, la inclusión de los términos de interacción a un modelo de primer orden generará un modelo con la capacidad de representar cierta curvatura en la función de respuesta. Esto es causado por el torcimiento del plano inducido por $\beta_{ij}X_iX_j$.

El modelo de primer orden generado es la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Y: Remoción del Plomo (%)

β_0 : Coeficiente intercepto

β_i , y β_{ij} : Coeficientes del modelo lineal e interacción

x_i y x_j : Valores codificados de las variables independientes (pH, dosis, RPM y tiempo)

La función de la respuesta (Y) será generada en los componentes lineales e interactivos y los datos experimentales serán ajustados al modelo de primer orden como se muestra a continuación (Rodrigues y Emma, 2014):

El análisis estadístico fue realizado por ANOVA a 95 % de intervalo de confianza. Los gráficos y tablas del tratamiento fueron generados en el programa Statistica 13.3 y Minitab 17.

En la tabla 18, se muestran las variables independientes y dependiente trabajados en la investigación.

Tabla 18

Diseño estadístico, variable dependiente e independientes

Tratamientos	Variables independientes								Variable dependiente (Respuesta)
	Codificado				No codificado				% Remoción de plomo
	X1	X2	X3	X4	pH	RPM	Dosis (g)	Tiempo (min)	
1	-1	-1	-1	-1	2.5	220	4	27	
2	1	-1	-1	1	3.5	220	4	33	
3	-1	1	-1	1	2.5	240	4	33	
4	1	1	-1	-1	3.5	240	4	27	
5	-1	-1	1	1	2.5	220	6	33	
6	1	-1	1	-1	3.5	220	6	27	
7	-1	1	1	-1	2.5	240	6	27	
8	1	1	1	1	3.5	240	6	33	
9	0	0	0	0	3	230	5	30	
10	0	0	0	0	3	230	5	30	
11	0	0	0	0	3	230	5	30	

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización del agua de la quebrada del canal Duvaz y Morococha

En la tabla 19 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico in situ de la muestra tomada en la quebrada del canal Duvaz y Morococha. Los parámetros como: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica y oxígeno disuelto; fueron tomados en campo, mientras que la turbiedad y la concentración de plomo fueron analizados en el laboratorio.

Tabla 19

Resultados del análisis fisicoquímico de agua del canal Duvaz y Morococha

Muestra	Parámetro	Unidad	Método de análisis	Resultado
MA-01-01	Potencial de hidrógeno (pH)	Numérico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 23 rd Ed. 2017. Part-4500-H+B. pH value. Electrometric Method.	2.64
	Temperatura	°C	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017 Part 2550 B. Temperature. Laboratory and Field Methods.	10.7
	Conductividad eléctrica	µmho/cm	SMEWW APHA-AWWA-WEF 23 rd. 2017. Part 2510 B. Conductivity Laboratory Method.	535
	Oxígeno disuelto	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part 4500 O G. Oxygen (Dissolved).	8.25
	Turbiedad	UNT	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part-2130 B, Turbidity. Nephelometric Method.	1.77
	Plomo total	mg/L	EPA. Method 200.7. Revisión 4.4 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic. Emission Spectrometry.	0.02
	Temperatura del aire	°C	Protocolo de parámetros meteorológicos.	7

La muestra de agua tomada en la quebrada de las minas Duvaz y Morococha arrojó una baja concentración de plomo por lo que se procedió a realizar experimentos a escala laboratorio fortificando agua destilada con nitrato de plomo a una concentración de 30 mg/L aproximadamente, en esta muestra fortificada, se realizó una lectura por duplicado para asegurarse dicha concentración inicial en estudio.

A continuación, se muestra el valor promedio de plomo total con la que se trabajó en los tratamientos de bioadsorción con las escamas del *Mugil cephalus*.

En la tabla 20, se muestra el valor inicial promedio con la que se trabajó los 11 tratamientos por duplicado en la bioadsorción de plomo con las escamas del *Mugil cephalus*. Es decir, todos los vasos precipitados presentaron una concentración inicial de 28.36 mg/L de Pb que fueron sometidos a tratamiento de bioadsorción con las escamas a diferentes condiciones de pH, Dosis, RPM y Tiempo.

Tabla 20

Valor promedio de plomo total empleado en los tratamientos de bioadsorción

Código	Parámetro	Unidad	Método de análisis	Resultado
TRC-MP-01	Plomo total	mg/L	EPA. Method 200.7. Revisión 4.4 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	28.28
TRC-MP-02				28.44
Promedio				28.36

4.2. Caracterización del bioadsorbente (escamas del *Mugil cephalus*)

Las escamas del *Mugil cephalus* fueron caracterizados tanto en propiedades físicas como químicas, como: % humedad; % de cenizas; contenido de calcio, magnesio y nitrógeno; así como morfología y granulometría del mismo.

4.2.1. Contenido de agua

El contenido de agua promedio presente en las escamas del *Mugil cephalus* fue 63.3%. Ver tabla 21.

Tabla 21
Porcentaje de contenido de agua del bioadsorbente

Repetición	Peso inicial	Peso final	% Pérdida de humedad	% Contenido de agua	Promedio
H1	38.727	38.045	34.10	65.90	
H2	38.681	38.019	33.10	66.90	63.3%
H3	33.997	33.319	33.90	66.10	

En la tabla 20 se muestra el contenido de agua promedio presente en las escamas del *Mugil cephalus* cuyo valor fue de 63.3%. Según el Instituto del Mar del Perú – IMARPE (1996) en una caracterización de composición nutricional estudiada, el pez lisa (*Mugil cephalus*) arrojó un porcentaje de contenido de agua de 74.6%. Mientras que Izquierdo, Torres, González, Barboza, Márquez y Allara (2000) en un estudio de contenido de humedad en doce especies de pescado en Venezuela, muestra que el pez lisa presenta una humedad de 71.09%.

Por otra parte, en las tesis de Quispe (2017), Cuadros y Viza (2007) las escamas del *Mugil cephalus* muestran un contenido de agua del 70.6% y 39.6% respectivamente. Mientras que Basualdo y Delgado (2019) mencionan que las escamas del pescado lisa en 100 g de muestra presentan un 54.84% de contenido de humedad.

Según lo mencionado anteriormente, los valores en el contenido de agua en el pez lisa van desde un rango del 63 hasta el 75%, y la humedad en las escamas del mismo pez tiene un intervalo desde un 40 a 71%. Esto significa, que el valor obtenido de humedad en las escamas del *Mugil cephalus* en la presente tesis está dentro de los márgenes con un 63.3%.

Recordemos, que la humedad es el contenido de agua que está unida a una muestra, en este caso las escamas del pez lisa; por ello, podría funcionar como solvente en reacciones y contribuir al deterioro de la estructura de la escama si no se seca adecuadamente. Sin embargo, según menciona Quevedo (2017), la humedad no es un factor que incida en el proceso de bioadsorción.

4.2.2. Contenido de materia inorgánica

A continuación, se muestra los resultados de las 3 repeticiones del contenido de materia inorgánica que se hizo a las escamas del *Mugil cephalus*. Ver tabla 22.

Tabla 22
Porcentaje de contenido de materia inorgánica

Repeticición	Pesa inicial	Peso final	% Cenizas	Promedio
C1	2.014	0.805	39.97	
C2	2.024	0.814	40.22	39.88
C3	2.015	0.795	39.45	

En la tabla 21 se realizaron pruebas por triplicado, mostrando un contenido de materia inorgánica promedio presente en las escamas del *Mugil cephalus* de 39.88%.

En la tesis de Quispe (2017), Cuadros y Viza (2007) las escamas del *Mugil cephalus* presentaron un contenido de materia inorgánica de 42% y 28.9% respectivamente. Mientras que Besualdo y Delgado (2019) en un estudio realizado mencionan que las escamas del pescado lisa en 100 g de muestra presentan un 21.21% de contenido de materia inorgánica.

Según lo analizado en otras tesis acerca del porcentaje de cenizas, los valores en el contenido de materia inorgánica presentes en el pez lisa van desde un rango de 21% hasta el 42%. Esto significa, que el valor obtenido de cenizas en las escamas del *Mugil cephalus* en la presente tesis está dentro del intervalo con un 39.88%.

Si bien es cierto, el porcentaje de cenizas señala el contenido de minerales presentes en una muestra, el valor que resultó en la presente tesis de 39.88% se interpreta que las escamas del *Mugil cephalus* tiene una presencia alta de minerales y según Tello (2017) esto se debería al hábitat a la cual pertenece el pez lisa.

Las cenizas que se obtienen en una muestra no presentan necesariamente la misma composición que la materia mineral presente en las escamas del pez lisa (Márquez, 2014), por lo que corrobora a lo que Quevedo (2017) afirma que el porcentaje de cenizas no es un factor influyente en la bioadsorción.

4.2.3. Contenido de calcio, magnesio y nitrógeno

En la tabla 23, se visualiza el resultado de calcio, magnesio y nitrógeno que tienen las escamas del *Mugil cephalus*, presentando: 165.75 mg Ca/g-escama, 2.37 mg Mg/g-escama y 79.9 mg N/g-escama.

Tabla 23
Contenido de calcio, magnesio y nitrógeno

Parámetro	Unidad	Método de análisis	Resultado
Calcio	mg/100 g	AOAC 985.35, 20 th. Ed. (2016). Minerals in infant Formula, Enteral products and pet food. Atomic absorption method (método modificado).	16574.93
Magnesio	mg/100 g	AOAC 985.35, 20 th. Ed. (2016). Minerals in infant Formula, Enteral products and pet food. Atomic absorption method (método modificado).	237.21
Nitrógeno	g/100 g	AOAC 984.13 (2016) Protein (crude) in animal feed and pet food. Cooper Catalyst Kjeldahl Method.	7.99

4.2.4. Análisis morfológico y granulométrico del bioadsorbente mediante microscopía electrónica de barrido (MEB)

El análisis morfológico del bioadsorbente (escamas de pescado *Mugil cephalus*) se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de barrido, de alta resolución de efecto de campo, en un microscopio electrónico marca HITACHI SU 8230. El análisis se realizó en el laboratorio de microscopía de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El comportamiento como adsorbente, dependerá de varias características, como la superficie específica del adsorbente, su distribución de tamaño de poro, la naturaleza de sus grupos activos superficiales y la dosis empleada, lo cuales tendrán un papel importante en el proceso de adsorción (Álvarez y Carrasco, 2016).

Para la realización del análisis, se trabajó con muestras en polvo, tamizadas con un tamiz de 90 μm , las cuales fueron recubiertas con oro para hacerlas más conductoras y poder apreciar la morfología con mayor nitidez. A continuación, se presenta en la figura 15, la micrografía del bioadsorbente tomada a 100 LM aumentos a una escala de 500 μm , observando variedad de tamaños < a 90 μm .

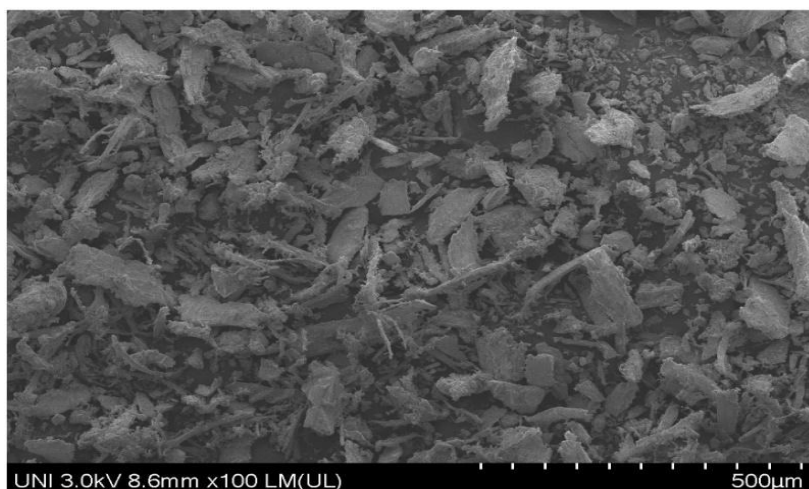


Figura 15. Micrografía de bioadsorbente a escala de 500 μm

Álvarez y Carrasco, (2016) indican que el grado de desarrollo de la porosidad de un determinado material dependerá de los tratamientos a los que se haya sometido. La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada por sus siglas IUPAC cataloga los poros en macroporos ($d > 50 \text{ nm}$), mesoporos ($2 \text{ nm} < d < 50 \text{ nm}$) y microporos ($d < 2 \text{ nm}$), según su diámetro (d). Apreciados gráficamente en la figura 16.

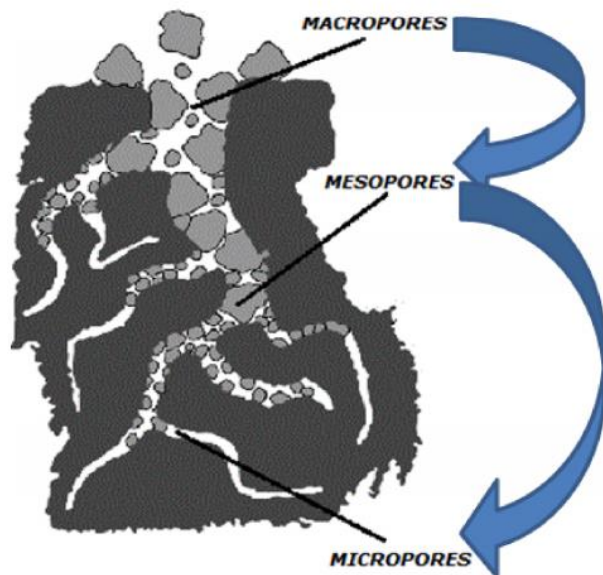


Figura 16. Representación esquemática de la porosidad de un adsorbente.

En la figura 17 se observa la imagen SEM a ampliación de 1.80K y escala de 30 μm , donde se puede apreciar superficies porosas y amorfas.

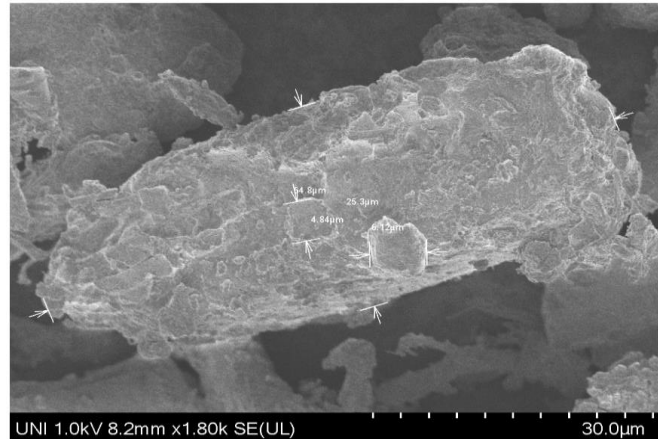


Figura 17. Micrografía SEM de bioadsorbente escala a 30 μm

Según la micrografía SEM a escala de 1 μm de la figura 18, los diámetros pueden variar entre 161 nm, 77.1 nm, 74.3 nm identificando macroporos > 50 nm en la superficie del bioadsorbente. Estos macroporos actuarán como canales a través del cual la molécula que va a ser adsorbida accede a los microporos, para posteriormente precipitar.

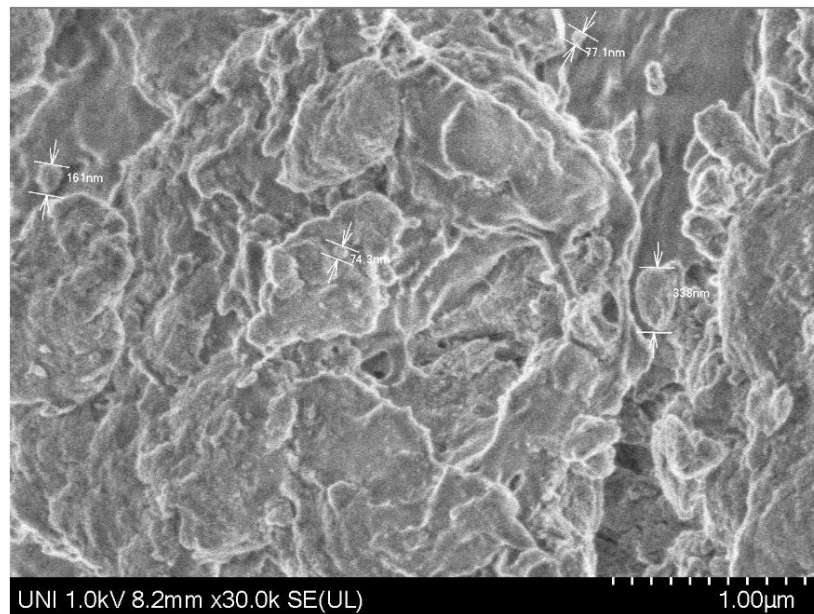


Figura 18. Micrografía SEM de bioadsorbente escala a 1 μm

4.3. Resultados del diseño de experimentos

A continuación, se detalla los resultados del diseño factorial fraccionado con 3 puntos centrales que fueron ejecutados con los programas Statistica versión 13.4 y Minitab 17.

4.3.1. Diseño Factorial Fraccionado

Se realizaron pruebas de bioadsorción con escamas del *Mugil cephalus* aplicando un diseño factorial fraccionado con 3 puntos centrales con el fin de evaluar el efecto de los factores que influyen en la remoción del plomo realizando menos corridas experimentales posibles.

Se estableció 3 puntos centrales con el objetivo de agregar más grados de libertad para el error en el ANOVA, sin dañar el balance en la estimación ni los efectos de interés; y descubrir una curvatura al menos en uno de los factores de estudio.

A continuación, se muestra los resultados de la remoción de plomo aplicando como bioadsorbente las escamas del *Mugil cephalus*, ver tabla 24.

Tabla 24

Resultados de la remoción de plomo con un diseño factorial fraccionado con 3 puntos centrales y 2 réplicas

Réplica	Código	Variables independientes				Variable de respuesta
		PH	RPM	Dosis (g)	Tiempo (min)	Pb (mg/L)
1	AB-01-01	2.5	220	4	27	1.2
1	PQ-01-02	3.5	220	4	33	0.39
1	WX-01-03	2.5	240	4	33	1.61
1	RS-01-04	3.5	240	4	27	0.52
1	KL-01-05	2.5	220	6	33	0.21
1	DC-01-06	3.5	220	6	27	0.3
1	GM-01-07	2.5	240	6	27	0.16
1	TZ-01-08	3.5	240	6	33	0.4
1	FH-01-09	3	230	5	30	0.28
1	NP-01-10	3	230	5	30	0.47
1	SD-01-11	3	230	5	30	0.61
2	BA-02-01	2.5	220	4	27	0.62
2	QP-02-02	3.5	220	4	33	0.3
2	XW-02-03	2.5	240	4	33	0.71
2	SR-02-04	3.5	240	4	27	0.59
2	LK-02-05	2.5	220	6	33	0.33
2	CD-02-06	3.5	220	6	27	0.22
2	MG-02-07	2.5	240	6	27	1.25
2	ZT-02-08	3.5	240	6	33	0.25
2	HF-02-09	3	230	5	30	0.44
2	PN-02-10	3	230	5	30	0.71
2	DS-02-11	3	230	5	30	0.71

En la tabla 24 se detalla las combinaciones de los niveles (-, 0, +) que se mostró en la tabla 17, donde cada variable independiente interactúa a diferentes condiciones para evaluar la remoción de los iones de plomo con el *Mugil cephalus*. Cabe mencionar que se realizó dos replicas a las mismas condiciones. Para el análisis estadístico se trabajó con los 22 datos obtenidos, es decir las 2 réplicas. Para ello, se analizaron los datos en Statistica versión 13.4 y Minitab 17.

Según la tabla 24 se tiene 8 tratamientos diferentes y 3 tratamientos iguales a las mismas condiciones que son los puntos centrales, totalizando 11 tratamientos y para crear un modelo de predicción se realizó una segunda réplica obteniendo 22 tratamientos.

Cabe mencionar, que los diseños experimentales no requieren de varias réplicas debido a que la fuente de variabilidad es controlada garantizando así las mismas condiciones en cada corrida del experimento y también a la asignación de las unidades experimentales de las combinaciones de los niveles de los factores (tratamientos) que es aleatoria, equilibrando así los sesgos por tratamiento (Salazar y Zapata, 2009).

Para evaluar el modelo de los resultados obtenidos, se hizo la gráfica de probabilidad normal de los residuales, donde se evalúa si los valores residuales están en una línea razonablemente recta.

La figura 19 muestra una gráfica de probabilidad normal de residuos versus los valores esperados. Los puntos azules que se aprecian están pegadas a la recta, lo que significa que los residuos siguen una distribución normal. Según Guisande, Vaamonde y Barreiro (2013) la variable dependiente presentará una distribución normal en cada nivel por cada factor sí solo sí los residuos son normales.

Según lo evaluado anteriormente, los datos de remoción de plomo son paramétricas por lo que se puede aplicar un diseño de experimento.

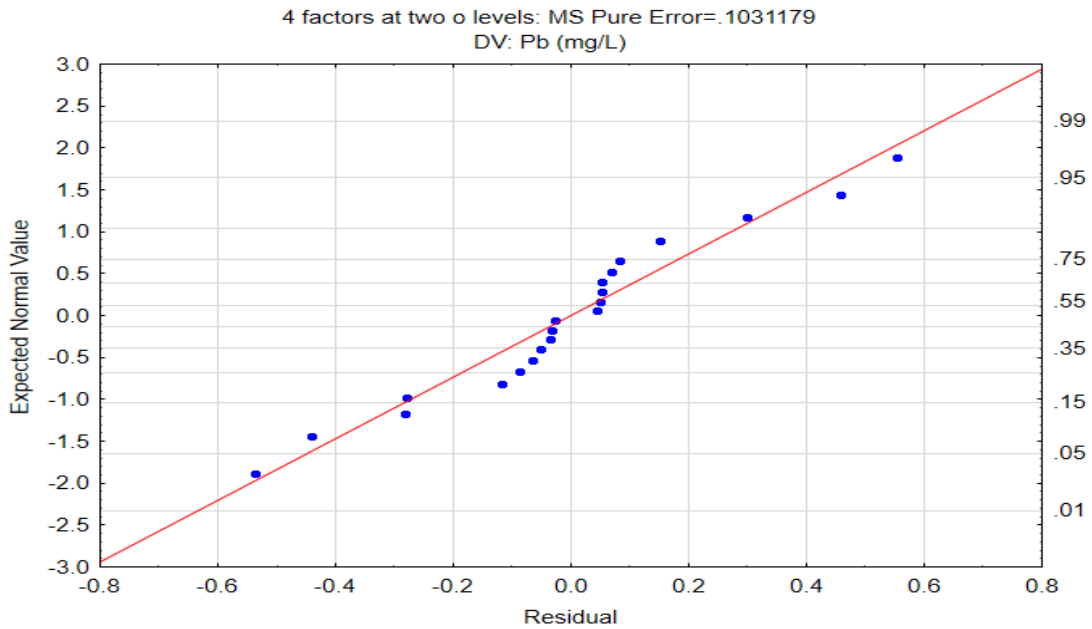


Figura 19. Prueba de valor normal del residual del ajuste del modelo

En la tabla 25 se muestra el análisis de varianza de los datos de remoción de plomo donde se obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) = 0.47 y un coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajust) = 0.34 a 95% de nivel de confianza. La tabla ANOVA muestra un valor P-valor por debajo a 0.05 para los factores (1) pH y (3) Dosis, lo que demuestra que son significativamente diferentes al nivel de confianza establecido.

Tabla 25

ANOVA de las interacciones de los factores en relación al Plomo

Factor	SM	GL	CM	F-valor	P-valor
(1)pH	0.608400	1	0.608400	5.900040	0.030388
(2)RPM	0.230400	1	0.230400	2.234335	0.158848
(3)Dosis (g)	0.497025	1	0.497025	4.819966	0.046888
(4)Tiempo (min)	0.027225	1	0.027225	0.264018	0.615995
Lack of Fit	0.198344	4	0.049586	0.480867	0.749500
Error Puro	1.340533	13	0.103118		
Total SS	2.901927	21			
R ²	0.47				
R ² -ajustado	0.34				

Nota. Dónde: SM: Suma de Cuadrados, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios

Para explicar mejor la calidad global de la regresión múltiple, se requiere de dos estadísticos claves: el coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajust) que se obtienen al sacar el ANOVA.

En la tabla 25 se visualiza un $R^2 = 0.47$, lo que significa que el 47% de la variabilidad de la remoción de plomo es explicado por el modelo de regresión. En cuanto al R^2 -ajust se tiene un valor de 0.34, lo que significa que no está dentro de lo establecido para fines de predicción. Ya que según Gutiérrez y De la Vara (2008) recomiendan un coeficiente de determinación ajustado de al menos 70% para predecir.

Para determinar de forma objetiva de decidir cuándo gran parte del error en la predicción se debe a la falta de ajuste del modelo, se realiza la prueba F de falta de ajuste (Lack-of-fit). Donde se plantea dos hipótesis:

Ho: La relación asumida en el modelo es razonable, es decir, no hay falta de ajuste en el modelo.

Ha: La relación asumida en el modelo no es razonable, es decir, hay falta de ajuste en el modelo.

Se toma una decisión si:

- Si el valor $p \leq \alpha$; se rechaza la hipótesis nula (H_0) a favor de la alternativa. Concluyendo que hay suficiente evidencia en el nivel de significancia para concluir que hay una falta de ajuste en el modelo la regresión lineal simple.
- Si el valor $p > \alpha$; se acepta la hipótesis alterna (H_a). Concluyendo que no hay suficiente evidencia en el nivel de significancia para concluir que hay una falta de ajuste en el modelo de regresión lineal simple.

Según la tabla 25, el P-valor de Lack of fit es 0.749 mayor que 0.05 nivel de significancia, por lo que la falta de ajuste no es estadísticamente significativo.

En pocas palabras, como el P-valor de falta de ajuste es $> \alpha$, esto significa que el modelo propuesto se ajusta a los datos experimentales y que las variables independientes tienen efectos considerables en la remoción de plomo.

El gráfico de Pareto, figura 20, muestra los factores que tienen más significancia o son consideradas como el mejor tratamiento.

En la figura 20 se muestra el Diagrama de Pareto de la variable de respuesta plomo, la cual, los factores que cruzan la línea roja son considerados como los mejores candidatos que explican el modelo. Siendo el pH el primer factor y la dosis como el segundo en explicar la remoción de plomo. Por lo tanto, las variables (factores) que influyen significativamente en la remoción de plomo son el pH y la dosis.

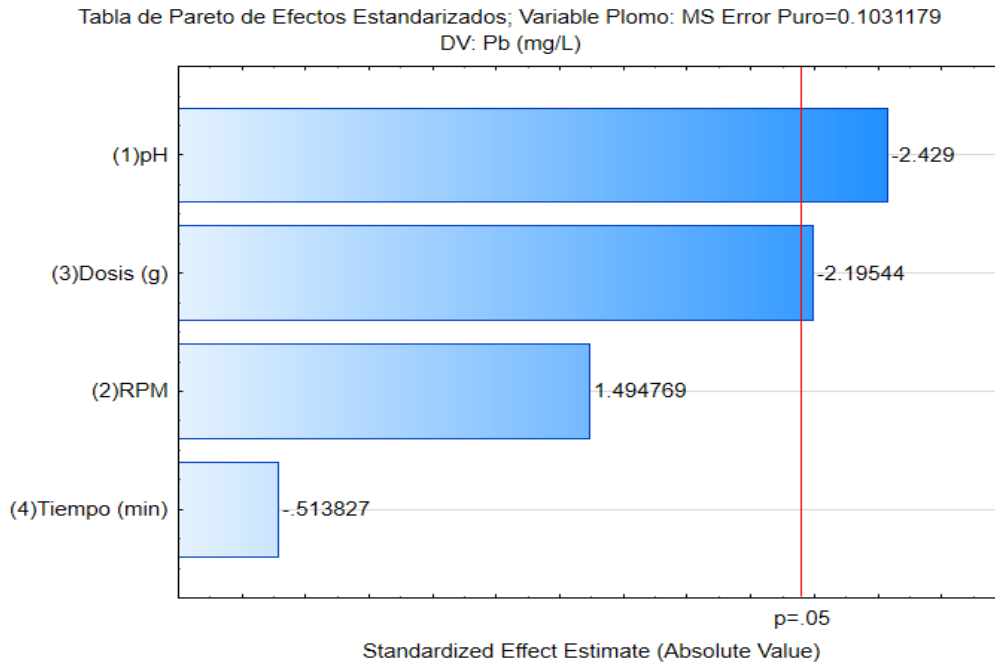


Figura 20. Diagrama de Pareto, estandarización de efectos para variable de respuesta Plomo (mg/L)

Según Tejada, Villabona y Garcés (2015), el efecto del pH de la solución acuosa en la adsorción de metales pesados en aguas residuales empleando material biológico, en este caso escamas del *Mugil cephalus*, es un importante parámetro debido a que controla la adsorción de metales en diferentes adsorbentes, ya que los iones de hidrógeno se establecen en un adsorbato fuertemente competitivo.

En cuanto a la dosis, al ser escamas de *Mugil cephalus* son un tipo de biomasa que presenta componentes estructurales como proteínas y diversos grupos funcionales como carboxilos, hidroxilos y grupos aminos o amidas, que tienen la capacidad de enlazar con los iones disueltos en la solución acuosa por atracción electrostática (Lavado y Oré, 2016).

Cabe mencionar, que la dosis está en función de los gramos de escamas del *Mugil cephalus* que se empleó para adsorber los iones de plomo. Según la figura 20, la dosis es el segundo factor

significativo en la variable de respuesta, por lo que explica el objeto de estudio de esta tesis, demostrándose así el poder bioadsorbente que tiene la escama al quitar los iones de plomo del agua.

A continuación, se presenta las gráficas de medias de diferentes interacciones entre las variables independientes y su efecto en la variable de respuesta de plomo.

En la figura 21 se visualiza la interacción de 3 variables independientes (Dosis, RPM, pH) sobre los efectos en la variable de respuesta (remoción del plomo), mostrando que, a una dosis ligeramente superior a 6 gramos, con un pH de 3.5 y un RPM de 220 se consigue un resultado óptimo de plomo que está por lo de bajo de 0.30 mg/L.

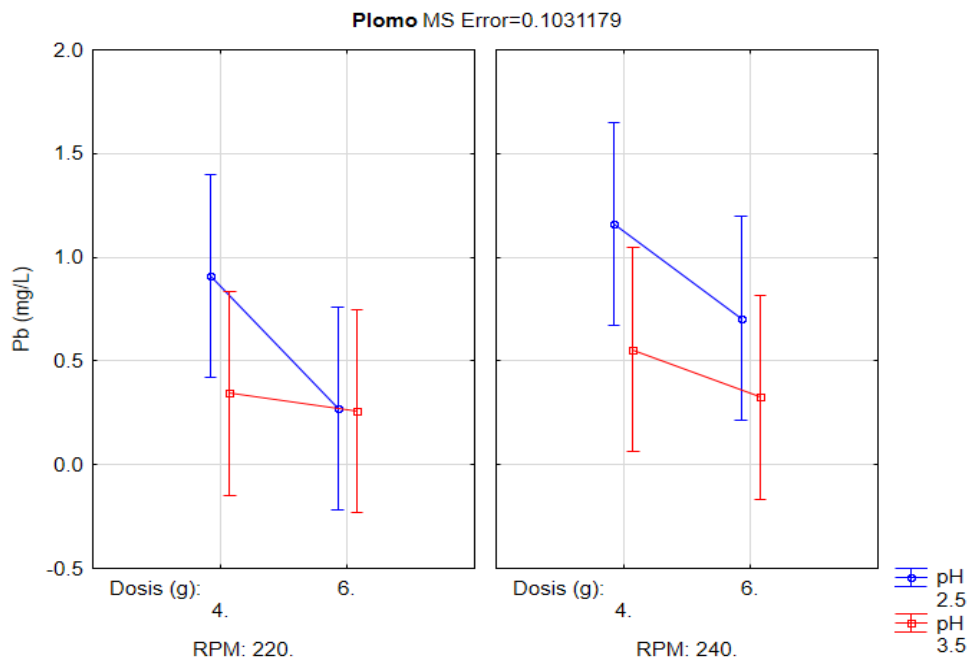


Figura 21. Gráfica de medias de la Interacción de factores en la remoción de plomo (Dosis, RPM, pH)

En la figura 22 se aprecia la interacción de 3 variables independientes (pH, tiempo, Dosis) sobre los efectos en la variable de respuesta (remoción del plomo), mostrando dos condiciones distintas en donde se pueden obtener valores bajos de plomo.

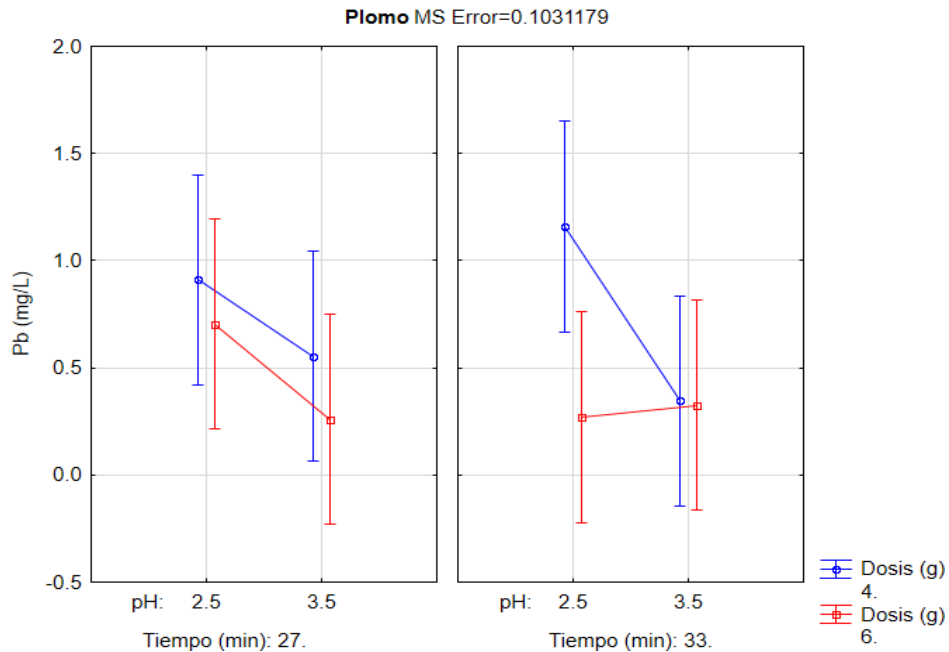


Figura 22. Gráfica de medias de la interacción de factores en la remoción de plomo (pH, tiempo, Dosis)

En la primera, se afirma que a un pH mayor o igual a 3.5, con un tiempo de agitación de 27 min y una dosis de 6 gramos de escamas se obtendrán valores por debajo de 0.25 mg/L de plomo.

En la segunda, se menciona que a un pH igual o ligeramente mayor a 2.5, con un tiempo de agitación de 33 min y una dosis de 6 gramos de escamas se obtendrá valores por debajo de 0.25 mg/L de plomo.

Para ambas situaciones se obtienen valores inferiores a 0.25 mg/L de Pb empleando 6 g de escamas de *Mugil cephalus*. A medida que se disminuye el pH de la solución y aumenta el tiempo

de agitación los valores son mejores. De igual forma, si aumentan los valores de pH y disminuyen los tiempos se obtendrán resultados bajos de plomo.

Por lo tanto, se afirma que el pH y el tiempo de agitación son inversamente proporcional en la remoción de plomo manteniendo constante la dosis de escamas.

En la figura 23 se muestra la interacción de los 2 factores significativos en la remoción de plomo: pH y dosis. De ello, se menciona que a un pH mayor o igual a 3.5 y una dosis de 6 gramos de escamas se obtienen valores menores o iguales a 0.30 mg/L de Pb. Por ello, se afirma que el pH de la solución y la dosis de escamas son directamente proporcional en la reducción de iones de plomo del agua.

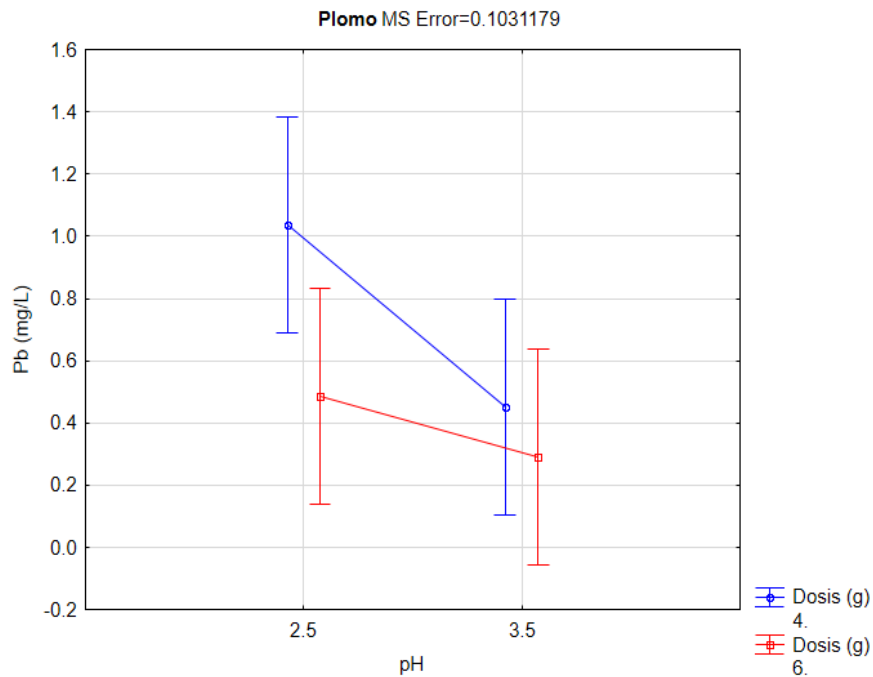


Figura 23. Gráfica de medias de la interacción de factores en la remoción de plomo (pH y Dosis)

Asimismo, Garcés y Coavas (2012) mencionan que en la fase acuosa de la solución, el valor del pH es el factor más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto diferente para ambos casos. A esto se suma Kuyucak & Volesky (1989), quienes afirman que la adsorción de cationes se favorece para pH superiores a 4.5, y para la adsorción de aniones de pH bajos entre 1.5 y 4.0.

En un estudio de cinética de biosorción de iones de plomo en pectina reticulada, los resultados demostraron que existe una mayor adsorción de plomo cuando el pH de la solución acuosa está entre 4.5 y 5.5; y por encima de esos valores el plomo precipita (García, Yipmantin, Guzmán, Pumachagua y Maldonado, 2011).

En cuanto a la dosis de las escamas, el valor óptimo según lo estudiado por Quispe (2017) para la remoción de una concentración inicial de plomo de 6.088 mg/L es de 6 gramos, llegando a remover a 0.074 mg/L de Pb.

Las figuras 24 y 25, muestra los resultados de superficie de respuesta de pH y Dosis luego de aplicar un tratamiento de bioadsorción de plomo con las escamas del *Mugil cephalus*. Se puede ver en la figura 25 tres puntos alineados en el color amarillo, lo que indica valores inferiores a 0.6 mg/L de Pb.

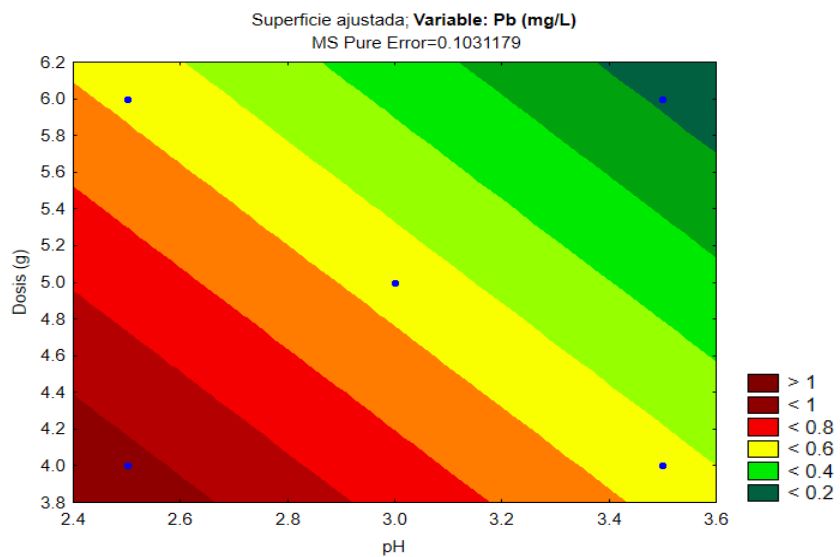


Figura 24. Contorno de respuesta del pH y Dosis (g) en la remoción de plomo

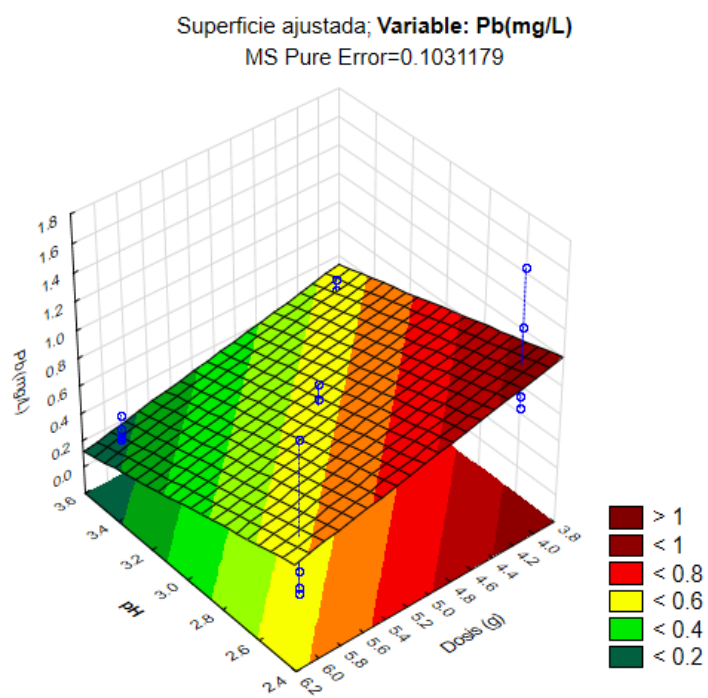


Figura 25. Superficie de respuesta del pH y Dosis (g) en la remoción de plomo

En la figura 24, se aprecia la relación directamente proporcional del pH y Dosis en cuanto a la remoción de plomo. A medida que se trabaja con valores de pH por encima de 3.5 y una dosis de 6 gramos se obtienen resultados < 0.2 mg/L de Pb.

Según el estudio de biosorción de cadmio, plomo y zinc por biomasa pretratada, ejecutada por Vizcaíno y Fuentes (2014), demuestran resultados favorables en la reducción de plomo de 23.57 mg/L a 0.25 mg/L en un drenaje ácido de mina a un pH de solución acuosa de 4.5. Lo que indica, la corroboración de la interpretación del presente trabajo de investigación en cuanto a la variable pH de la solución.

En cuanto a la dosis del *Mugil cephalus*, se necesitó de 6 gramos para reducir una concentración de 28.36 mg/L a 0.26 mg/L de plomo. Esto se debe a que la cantidad de adsorbente está directamente relacionada a la superficie disponible para la adsorción y también a la cantidad de posibles grupos funcionales mencionados por Lavado y Oré (2016), que están superficialmente disponibles para captar a los iones de plomo (adsorbato) (Vijayaraghavan y Balasubramanian, 2015).

El modelo matemático de predicción según el Lack of fit de la tabla 24 de la interacción de pH y Dosis se refleja en la siguiente ecuación:

$$\text{Remoción de Plomo (Pb)} = 0.26 - 0.39X - 0.18Y + 2.35 \quad (6)$$

Donde:

X = pH de la solución

Y = Dosis de las escamas

4.3.2. Pruebas a posteriori – Post hoc

Una vez comprobada la significancia de los tratamientos tras aplicar el ANOVA, se sabría que al menos uno de los promedios de la variable respuesta determinado para un tratamiento, es diferente de los obtenidos para los otros tratamientos, para identificar cuál o cuáles promedios son diferentes resulta necesario realizar pruebas adicionales (Montgomery, 2004).

Cuando el diseño tiene un factor o variable independiente con más de dos condiciones será necesario recurrir a la opción de ‘post-hoc’ (a posteriori) para poder descubrir entre qué pares de medias se encuentran las diferencias. Por ejemplo, puede ser que todos los promedios sean diferentes entre sí, o que haya dos grupos que se diferencian, o que solamente uno se diferencie de los demás y así sucesivamente (Navarro 2006).

La prueba a posteriori desarrollada en la investigación fue la Mínima diferencia significativa MSD, (LSD de Fisher por sus siglas en inglés), el cual es un método abreviado para realizar todas las pruebas *t* por pares (Kuehl, 2000), el cual se utiliza en el ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores, controlando al mismo tiempo la tasa de error individual en un nivel especificado.

4.3.2.1. Comparación de medias entre cada tratamiento

Para realizar la comparación de medias entre cada tratamiento, se tabuló con los resultados de ambas corridas, obteniendo los promedios y desviación estándar entre ambos, mostrados en la tabla 26. Se trabajó con 9 tratamientos, considerando un solo tratamiento a los 3 puntos centrales, ya que poseen las mismas condiciones de pH, dosis, RPM y tiempo. Ver tabla 26

Tabla 26
Medias y desviación estándar de los tratamientos

Tratamiento	Media	Desv. Est.
T1	0.910	0.4100
T2	0.3450	0.0636
T3	1.160	0.636
T4	0.5550	0.0495
T5	0.2700	0.0849
T6	0.2600	0.0566
T7	0.705	0.771
T8	0.3250	0.1061
T9	0.5365	0.1181

Nota. Desviación estándar agrupada = 0.366567

Según la agrupación de pares al 95% de confianza, aplicando el método LSD Fisher, nos señala que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, por lo tanto, los tratamientos T8, T5 y T6 son significativamente diferentes, considerando que el menor valor es mejor en este caso correspondería a la letra “B”. En cambio, los tratamientos T1, T7, T4, T9, T2 son tratamientos con medias iguales, por lo que no fueron significativas, representadas por las letras AB y finalmente el T3 que se agrupa en el grupo A. Ver tabla 27.

Tabla 27
Agrupación de medias al 95% de nivel de confianza

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T3	2	1.160	A
T1	2	0.910	AB
T7	2	0.705	AB
T4	2	0.555	AB
T9	2	0.5365	AB
T2	2	0.3450	AB
T8	2	0.3250	B
T5	2	0.2700	B
T6	2	0.2600	B

Los tratamientos T8, T6 y T5 quienes resultaron significativamente diferentes, se trabajaron con dosis de 6g, demostrando que la mayor adsorción de Pb se da a esta dosis de bioadsorbente, corroborando que esta variable es influyente en el tratamiento, seguido del pH con valores de 3,5 y los RPM de 220. Y la representación gráfica de los tratamientos significativamente diferentes se muestran en la figura 26.

Tabla 28
Variables de los tratamientos significativamente diferentes

Tratamiento	pH	RPM	Dosis	Tiempo
T8	3.5	240	6	33
T6	3.5	220	6	27
T5	2.5	220	6	33

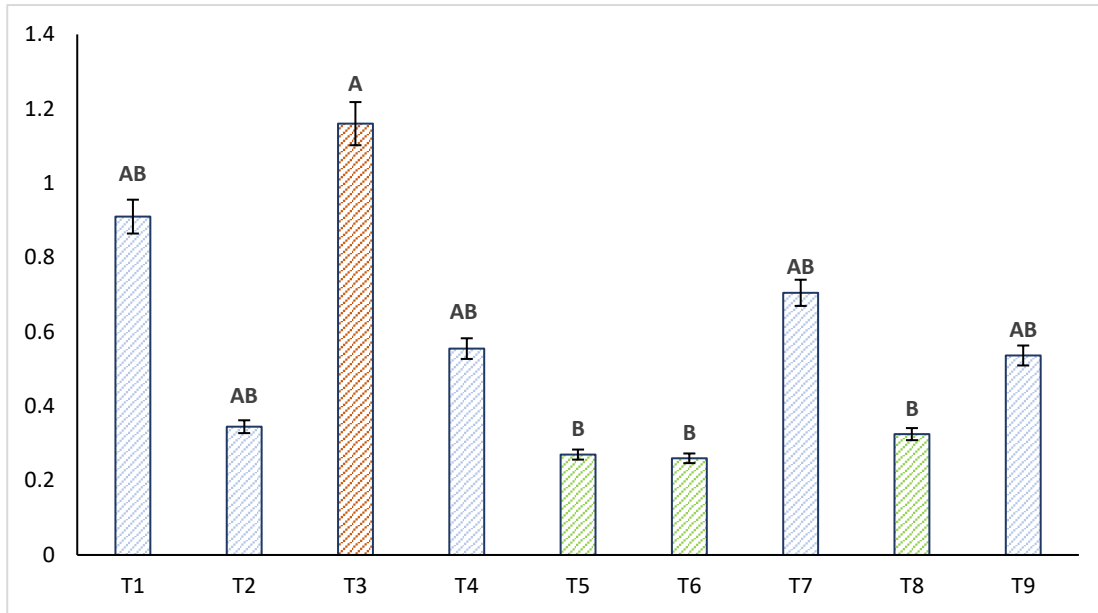


Figura 26. Representación de tratamientos significativamente diferentes grupo "B"

4.4. Cálculo del porcentaje de remoción

La eficiencia de remoción para el Pb se realizó en función a la diferencia de concentración inicial y concentración final de plomo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \eta_{\text{remoción}} = \frac{Pb_{\text{inicial}} - Pb_{\text{final}}}{Pb_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

η : Eficiencia de remoción de plomo [%]

Pb_{inicial} : Concentración inicial de plomo [mg/L]

Pb_{final} : Concentración final de plomo [mg/L]

Para el cálculo del porcentaje de remoción se tomó como datos los valores de las dos corridas. En la tabla 29 se observa que el mayor % de remoción para plomo se obtuvo con el tratamiento 7 con un 99.43% , reduciéndose de 28.36 mg/L hasta 0.16 mg/L de Pb; dicho

tratamiento se trabajó a condiciones de pH de 2.5, dosis del bioadsorbente de 6 g, 240 RPM y tiempo 27 min respectivamente. Ver tabla 29

Tabla 29
Eficiencia de remoción de Pb con los tratamientos

Tratamientos	Concentración del metal Pb (mg/L)		% remoción
	Inicial	Final	
T1	28.36	1.20	95.76%
T2	28.36	0.39	98.62%
T3	28.36	1.61	94.31%
T4	28.36	0.52	98.16%
T5	28.36	0.21	99.26%
T6	28.36	0.30	98.94%
T7	28.36	0.16	99.43%
T8	28.36	0.40	98.59%
T9	28.36	0.28	99.01%
T10	28.36	0.47	98.34%
T11	28.36	0.61	97.84%
T12	28.36	0.62	97.82%
T13	28.36	0.30	98.95%
T14	28.36	0.71	97.50%
T15	28.36	0.59	97.93%
T16	28.36	0.33	98.84%
T17	28.36	0.22	99.23%
T18	28.36	1.25	95.60%
T19	28.36	0.25	99.12%
T20	28.36	0.44	98.45%
T21	28.36	0.71	97.50%
T22	28.36	0.71	97.50%

4.5. Análisis comparativo de los resultados de remoción de plomo con los LMPs para efluentes minero-metalúrgicos.

El análisis comparativo se realizó en función a los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes de actividades minero-metalúrgicas, aprobado según Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, debido a que el agua fortificada con nitrato de plomo se simuló a un tipo de efluente minero.

Los valores de Pb inicial fueron 28.36 mg/l, con la tecnología de bioadsorción aplicando las escamas de pescado *Mugil cephalus* como bioadsorbente, en la primera corrida el mejor tratamiento fue el T7 cuya concentración final fue 0.16 mg/L; cuyo valor comparado con los LMP 010-2010 para plomo (0.2 mg/L) cumple con la normativa actual. Mientras que, en la segunda corrida, todos los valores de los tratamientos superan los LMPs. Ver figura 27

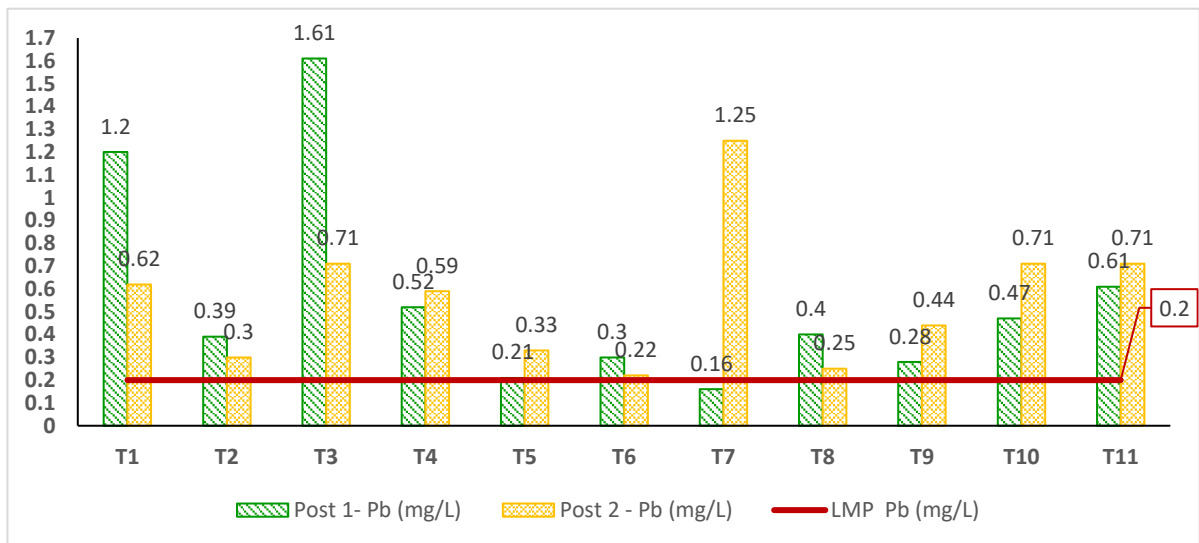


Figura 27. Análisis comparativo de valores post con los LMP 010-2010

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se evaluó la bioadsorción de plomo en agua fortificada mediante las escamas del pez Lisa *Mugil cephalus* a escala laboratorio obteniendo un porcentaje de remoción del 99.43%, es decir se redujo de una concentración inicial de 28.36 mg/l a 0.16 mg/L de plomo como concentración final.

Se caracterizó físicamente las escamas de *Mugil cephalus*, mostrando un contenido de agua promedio de 63.3%, y un contenido de materia inorgánica promedio de 39.88%. Químicamente las escamas presentan 165.75 mg de Ca/g , 2.37 mg de Mg/g y 79.9 mg de N/g. Morfológicamente el bioadsorbente tiene superficies porosas y amorfos; con diámetros entre 161 nm, 77.1 nm, 74.3 nm identificando macroporos > 50 nm en la superficie del bioadsorbente

Se determinaron que las variables que influyen significativamente en la remoción de plomo son el pH con un P-valor de 0.030388 y la dosis con P-valor de 0.046888, con un R^2 de 0.47, R^2 -ajustado de 0.34 al 95% de nivel de confianza y un Lack of fit con $p > \alpha$ ($0.7495 > 0.05$) empleando un Diseño Factorial Fraccionado con 3 puntos centrales.

Se determinó las condiciones óptimas de bioadsorción de plomo considerando las variables pH y dosis, obteniendo mejores resultados < 0.2 mg/L, con valores de pH por encima o iguales a 3.5 y una dosis de 6 g. Por ello, se afirma que el pH de la solución y la dosis de escamas son directamente proporcional en la reducción de iones de plomo en el agua. Aplicando el método LSD de Fisher como prueba posteriori, corrobora que las variables de los mejores tratamientos T6, T5 y T8 agrupados en el grupo B, es la dosis de 6gr y pH 3.5.

De acuerdo al análisis comparativo de los resultados de la remoción de plomo por bioadsorción, aplicando como bioadsorbente las escamas de *Mugil cephalus*, con los Límites

Máximos Permisible (LMP) para efluentes minero-metalúrgicos según D. S. 010-2010 MINAN, los valores de plomo se encuentran por encima de los LMPs, por lo que se recomienda evaluar un tratamiento posterior al de la bioadsorción con las escamas de *Mugil cephalus*.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda, llevar el estudio a una optimización de procesos para alcanzar valores cercanos a 0 mg/L en cuanto a la concentración final de Plomo.
- Es recomendable aplicar como bioadsorbente exoesqueletos de otro tipo de especies marinas y evaluar la eficiencia de remoción según cada tipo de bioadsorbente.
- Se recomienda realizar ensayos para diferentes metales pesados presentes en efluentes mineros, industriales y aguas contaminadas; con el propósito de determinar la factibilidad de este bioadsorbente como tratamiento de metales pesados.
- Se recomienda para futuras investigaciones implementar un tratamiento secundario para alcanzar los parámetros para la disposición final que se pretende a áreas verdes o al mar.

REFERENCIAS

- Altamirano P. M., (2015) *Remoción de Pb²⁺ por medio de adsorción en quitosano*. Universidad Veracruzana.
- Álvarez, M. M., Carrasco, M. F., (2016) *Aplicaciones de adsorbentes y catalizadores en procesos medioambientales y energéticos*. Sevilla: Publicaciones.unia.es
- Astete, J., Cáceres, W., Gastañaga, M., Lucero, M., Sebastizagal, I., Oblitas, T., . . . Rodríguez, F. (2009). *Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros*. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 15-19.
- Autoridad Nacional del Agua (2016). *Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Resolución Jefatural N°010-2016-ANA*. Ministerio de agricultura.
- Basualdo, L. I., Delgado, P. J., (2019). *Obtención y caracterización fisicoquímica, químico proximal y sensorial de gelatina a base de escamas de pescado y aguaymanto (Physalis peruviana)* (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú, Tarma.
- Calero, M., Hernáinz, F., Blázquez, G., Tenorio, G., y Lara, M. (2009). *Study of Cr (III) biosorption in fixed-bed column*. *Journal of Hazardous Materials*, 886-893.
- Castaño, T. E., Dominguez, D. J., (2010) *Diseño de Experimentos: Estrategias y análisis en ciencias e ingeniería*. Querétaro, Mexico: Alfaomega
- Castillo, R. F. (2005). *Biotecnología ambiental*. Madrid, España: Editorial Tébar S.L.
- Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., y Sandoval Rojas, I. J. (2015). *Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados comúnmente presentes en Aguas Residuales Industriales. Una revisión*. Revista Ingeniería y Región, 73-90.
- Constitución Política del Perú [Const]. Art. 66, 67 de diciembre de 1993 (Perú).
- Crini, G. (2005). Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. *Progress in polymer science*, 38-70.
doi:10.1016/j.progpolymsci.2004.11.002

- Cuadros, E. I., y Viza, L. C. (2007). Evaluación de escamas de pescado como adsorbente de metales pesados.
- Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, D. C., Rajan, N., Liu, X., y Niedermann, S. (2013). *Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 324-330. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>.
- Das, N. (2010). Recovery of precious metals through biosorption - A review . *Hydrometallurgy*, 180-189. doi:10.1016/j.hydromet.2010.03.016
- Delgado, H. S. (2013) *Evaluación de escamas de pescado como adsorbente de metales pesados de agua residual*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Eccles, H. (1995). *Removal of Heavy Metals from Effluent Streams - Why select a biological process*. *International Biodeterioration y Biodegradation*, 5-16.
- Eróstegui Revilla, C. P. (2009). *Contaminación por metales pesados*. (K. P. Romero Ledezma, Entrevistador) Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332009000100013
- Fiorentin, L. D., Trigueros, D. E., Módenes, A. N., Espinoza Quiñones, F. R., Pereira, N. C., Barros, S. T., y Santos, O. A. (2010). *Biosorption of reactive blue 5G dye onto drying orange bagasse in batch system: Kinetic and equilibrium modeling*. *Chemical Engineering Journal*, 163, 68-77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.07.043>
- Food and agriculture organization of the united nations FAO. (2014). *The state of world fisheries and aquaculture. Opportunities and challenges*. Rome.
- Garcés, J. L., y Coavas, R. S. (2012). Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales.
- García Fayos, B., Arnal Arnal, J. M., Piris, L. J., Lucas Granados, B., y Sancho Fernández, M. (2014). *Design of a continuous system of adsorption to remove heavy metals from water. Application to developing countries*. En A. E. Proyectos, 18th International Congress on Project Management and Engineering: Book of Abstracts / Libro de Resúmenes (págs. 1787-1798). Valencia: Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos (AEIPRO).

- García, V. V., Yipmantin, O. A., Guzmán, L. E., Pumachagua, H. R. & Maldonado, G. H. (2011). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 173-181. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000300002&lng=es&tlng=es.
- Gómez Aguirre, J., y Benítez Torres, M. J. (2011). *Evaluar el posible uso de la escama de cachama (Piaractus brachyomus) y tilapia (Oreochromis sp.) como desecho de la producción piscícola en procesos de nutrición animal y como enmienda en suelos de la región*. Villavicencio: Universidad de los Llanos.
- Guastalli, A; Parrilla, R; Llorens, J; Mata, J; 2004. *Application of Electrodialysis on Recovering Phosphoric Acid From an Industrial Rinsewater*. En: Costa, J. 2004. Trends in Electrochemistry and Corrosion the Beginning of the 21st Century. Edicions Universitat Barcelona, 1241 pp.
- Guisande, G. C., Vaamonde, L. A., y Barreiro, F. A. (2013). Tratamiento de datos con R, Estadística y SPSS. España: Díaz de Santos.
- Gunnar, N. (2010). *Metales: Propiedades químicas y toxicidad*. En Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo (págs. 63.1-63.75). Madrid: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Gutiérrez, P. H., y De La Vara, S. R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Health Canada. (2013). *Risk Management Strategy for Lead*. Ottawa: Publications Health Canada.
- Heemstra, P., Heemstra, E. (2004). *Coastal Fishes of Southern Africa*. Grahamstown: Paarl print.
- Hernández, S. R., Mendoza, T. C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México, México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, s.a.
- Huang, Z., Pan, X.-D., Wu, P.-G., Han, J.-L., y Chen, Q. (2014). *Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China*. *Food Control*, 36, 248-252. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.036>

- Huisman, J. L., Schouten, G., y Schultz, C. (2006). *Biologically produced sulphide for purification of process streams, effluent treatment and recovery of metals in the metal and mining industry*. Hydrometallurgy, 106-113.
- Ikoma, T., Mann, S., Tanaka, J., Walsh, D., y Mann, S. (2003). *Microstructure, mechanical, and biomimetic properties of fish scales from Pagrus major*. Journal of structural Biology, 327-333.
- International Lead Management Center. (2006). Manual para el manejo para el manejo ambientalmente responsable del plomo. Servicios Profesionales de impresión S.A.: México.
- Izquierdo, C. P., Torres F, G., Barboza de Martínez, Y., Márquez, S. E., y Allara, C. M. (2000). Análisis proximal, perfil de ácidos grasos, aminoácidos esenciales y contenido de minerales en doce especies de pescado de importancia comercial en Venezuela. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 50(2), 187-194. Disponible en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000200013&lng=es&tlng=es.
- Izquierdo, S. M. (2010). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso*. (Tesis doctoral) Universidad de Valencia, Valencia.
- Karnib, M; Kabbani, A; Holail, H; Olama, Z; 2014. *Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite*, Energy Procedia, Volume 50, 113-120.
- Kuehl, R. O., 2000. *Diseño de experimentos*. 2 ed. Thomson Learning, México D.F. p. 666.
- Kuyucak, N. & Volesky, B. (1989). Accumulation of cobalt by marine alga,” Biotechnol. Bioeng., Vol. 33, n°. 7, pp. 809-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bit.260330703>.
- Lavado, M. C., y Oré, J. F. (2016). Estudio de la biosorción de plomo divalente de soluciones acuosas usando biomasa modificada de marlo de maíz (*Zea mays*). Revista de la Sociedad Química del Perú, 82(4), 403-414. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000400003&lng=es&tlng=es.
- Li, N., Kang, Y., Pan, W., Zeng, L., Zhang , Q., y Luo, J. (2015). *Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to*

- bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site*, South China. *Science of the Total Environment*, 521-522, 144-151.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081>
- Liu, X; Lee, D; 2014. *Thermodynamic parameters for adsorption equilibrium of heavy metals and dyes from wastewaters*, *Bioresource Technology*. 160, 24-31.
- Mann Fischer, G. (1954). *La vida de los peces en aguas chilenas*. Santiago, Chile: Imprenta y litografía Stanley.
- Mao, J., Won, S. W., Vijayaraghavan, K., y Yun, Y. S. (2009). *Surface modification of Corynebacterium glutamicum for enhanced Reactive Red 4 biosorption*. *Bioresource Technology*, 100, 1463-1466. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.053>
- Márquez, S. B. (2014). Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones.
- Martorell, J. J. (2010). *Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa suratlántica andaluza afectados por contaminación difusa*.
- Melgar Macasana, A. L. (2016). *Diseño de un biofiltro a base del alga roja (Chondranthus chamissoi) para la remoción de cromo de efluentes de la industria de curtido*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Miranda Ferreira, R., y Escala Urdapilleta, M. C. (2002). *Guía de identificación de restos óseos de los Ciprinidos presentes en España*. Pamplona, España: Publicaciones de Biología, Universidad de Navarra.
- Montgomery, C. D. (2004) *Diseño y análisis de experimentos*. Arizona: Limusa wiley
- Nemerow, N; Dasgupta, A; 1998. *Tratamiento de Vertidos Industriales Peligrosos*. Ed. Días de Santos. Madrid, 822 pp.
- Oliver Schneider, C. (1943). *Catálogo de los Peces Marinos del litoral de Concepción y Arauco*. Concepción: Boletín Sociedad de Biología de Concepción.
- Onozato, H., y Watabe, N. (1979). *Studies on Fish Scale Formation and Resorption*. *Cell and Tissue Research*, 409-422.
- Organización Mundial de la Salud. (2013). *Analytical methods for measuring lead in blood*.
- Osei Boamah, P; Huang, Y; Hua, M; Zhang, Q; Wu, J; Onumah, J; Sam-Amoah, L; Osei Boamah, P; 2015. Sorption of heavy metal ions onto carboxylate chitosan derivatives—A mini-review, *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 16, 113-120.

- Plaza Cazón, J. (2012). *Remoción de metales pesados empleando algas marinas*.
- Quevedo, C. J., (2017) *Determinación de la capacidad de bioadsorción de plomo aprovechando las propiedades del exoesqueleto del camarón*. Tesis de Licenciatura.
- Quispe, A. J. (2017). Bioadsorción con escamas de pescado para la remoción de plomo en aguas fortificadas del río San Juan-Pasco.
- Ramírez Franco, J. H., Martínez Ávila, Ó. M., & Fernández Ospina, L. M. (2013). Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula. AVANCES Investigación en Ingeniería.
- Ramírez, L. J, Vázquez, V. M, Uresti, M. R, Velázquez, C. G, y Téllez, L.S, (2006). *Aprovechamiento integral de la lisa: Alternativa de desarrollo económico para la laguna madre de Tamaulipas*. Ciencia UAT, 57-60.
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., y Gonzáles, E. E. (2016). *Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Ingeniería, Investigación y Desarrollo, 16 (2), 66-77. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- Rodrigues, M. I., Emma, A. F. (2014) *Experimental Design and Process Optimization*. Canadian: Journal Overview. <https://doi.org/10.1002/cjce.22379>
- Rodriguez, A., y Espinal, A. (2008). *Niveles de plomo en sangre y factores de riesgo asociados en niños de 2 a 10 años en el barrio villa francisca, Santo Domingo, República Dominicana*. Ciencia y sociedad, 595-609.
- Royal Society of Canada. (1986). *Lead in the canadian enviroment, science and regulation*. Ottawa: Commission on lead in the environment.
- Salazar, J. C., y Zapata, A. B. (2009). Análisis y diseño de experimentos aplicados a estudios de simulación. Dyna, 76(159), 249-257.
- Sanín, L. E., Gonzáles Cossio, T., Romieu, I., y Hernández Avila, M. (1998). *Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud*. Salud pública de méxico, 40 (4), 359-368. Obtenido de <https://www.scielosp.org/pdf/spm/1998.v40n4/359-368/es>
- Singh, A., Sharma, R. K., Agrawal, M., y Marshall, F. M. (2010). *Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India*. Tropical Ecology, 51, 375-387. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/262604015_Risk_assessment_of_heavy_metal_

toxicity_through_contaminated_vegetables_from_waste_water_irrigated_area_of_Varana
si_India

- Synowiecki, J., y Al-Khateeb, N. (2003). Production, Properties, and Some New Applications of Chitin and Its Derivatives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 145-171.
- Taylor, J; Wiesner, M; 2002. Membranas. Capítulo 11. *En: AWWA. Calidad y Tratamiento del Agua. Manual de suministros de Agua Comunitaria*. McGraw Hill. Madrid, 707 - 779 pp.
- Tejada, T. C., Villabona, O., y Garcés, J. L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109-123.
Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010&lng=en&tlng=es.
- Tello, P. E. (2017). Evaluación del Quitosano obtenido a partir de escamas de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) por métodos químicos y biológicos.
- Vilchez, V. R. (2005). *Eliminación de metales pesados de aguas subterráneas mediante sistemas de lechos sumergidos: Estudio microbiológico de las biopelículas*. (Tesis doctoral) Universidad de Granada, Granada.
- Vilchis, G. J., (2013) *Adsorción de Pb (II) presente en solución acuosa sobre hidroxiapatitas de calcio, estroncio y bario*. Tesis de pregrado.
- Vizcaíno, M. L., y Fuentes, M. L. (2014). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(1), pp. 43-60. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a04.pdf>.
- Wan Ngah, W; Teong, L; Hanafiah, M; 2011. *Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review*, *Carbohydrate Polymers*, 83, 1446 - 1456.
- Wang, C. H., Lu, L. Y., y Chie, C. (2008). *Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty*. *Technovation* 28, 349-363.
- Wayne (2004) *Sistema integrado de información taxonómica USA. *Muyil cephalus Linnaeus**.
- White, E. E. (1959). El ministerio de Curación. EE.UU.
[https://egwwritings.org/?module=onlinebooks¶ms=\(startscreen:false\)](https://egwwritings.org/?module=onlinebooks¶ms=(startscreen:false))
- Zewail, T. M., Yousef, N. S. (2015). *Kinetic study of heavy metal ions removal by ion exchange in batch conical air spouted bed*. *Alexandria Engineering Journal*, 1-8.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2014.11.008>.

ANEXOS

Anexo 1 - Informe de ensayo calcio, magnesio, nitrógeno



Sociedad de Asesoramiento Técnico S.A.C.

JR. ALMIRANTE GUISSÉ N° 2580 - 2586 / LIMA 14 - PERÚ TELÉFONO: 206-9280
E-mail: satperu@satperu.com / Página web: www.satperu.com

INFORME DE ENSAYO N° DT-04576-01-2019

PRODUCTO : Harina de escamas de pescado
SOLICITADO POR : Ajahuana Mamani Claudia Lucero
DIRECCIÓN : Pasaje los Angeles Mz 20 AC Lote 1. Villa Maria del Triunfo - Lima
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019-08-09
FECHA DE ANÁLISIS : 2019-08-13
FECHA DE INFORME : 2019-08-20
SOLICITUD N° : SDT-09813-2019

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : Tamaño de Partícula: >180 um
ESTADO / CONDICIÓN : Producto en polvo / Temperatura Ambiente
PRESENTACIÓN : Bolsa ziplock de polietileno transparente y sellada, con sticker
CANTIDAD DE MUESTRA : 126 gramos
CANTIDAD DE MUESTRA DIRIMIENTE : Ninguna (A solicitud del cliente)

Servicio	Vía / Resultado
(*) Calcio (mg/100g)	16 574,93
(*) Magnesio (mg/100g)	237,21
(*) Proteína (-)	49,90 (Nx4,25)g/100g 7,99 (N)g/100g

(*) LOS METODOS INDICADOS NO HAN SIDO ACREDITADOS POR INACAL-DA

MÉTODOS

(*) Calcio : AOAC 985.35, 20 th. Ed. (2016). Minerals in Infant Formula, Enteral products and pet food. Atomic absorption method (método modificado)
(*) Magnesio : AOAC 985.35, 20 th. Ed. (2016). Minerals in Infant Formula, Enteral products and pet food. Atomic absorption method (método modificado)
(*) Proteína : AOAC 984.13 (2016) Protein (crude) in animal feed and pet food. Cooper Catalyst Kjeldahl Method

Notas

Contacto: Claudia Lucero Ajahuana Mamani. Correo: ajahuanac95@gmail.com

- Informe de ensayo emitido en base a resultados obtenidos en nuestro laboratorio. Válido únicamente para la muestra proporcionada. Queda absolutamente prohibida toda reproducción parcial del presente informe sin la autorización escrita de SAT S.A.C. Este documento es válido solo en original.

Clotilde Huápaya
QUIJA CLOTILDE HUÁPAYA HERREROS
JEFE DIVISIÓN TÉCNICA
C.Q.P.N° 296



Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30224, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL, aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2015-PRODUCE,

OTORGA la presente Renovación de la Acreditación a

SOCIEDAD DE ASESORAMIENTO TÉCNICO S.A.C.

En su calidad de **Laboratorio de Ensayo**

Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-act-05P-17F, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial

Sede Acreditada: Av Almirante Guisse Nro 2580, distrito de Lince, provincia de Lima y departamento de Lima.

Fecha de Renovación: 07 de junio del 2015

Fecha de Vencimiento: 07 de junio del 2019

Registro No. LE - 009
Fecha de emisión: 07 de octubre de 2015
DA-act-OIP-02M Ver. 00

Augusto Mello Romero
Director - Dirección de Acreditación

Anexo 3 - Informe de Ensayo N° ABR1151.R19



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-022

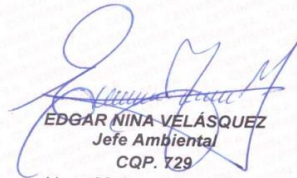


Página 4 de 8

Registro N° LE -022

INFORME DE ENSAYO
N° ABR1151.R19

SOLICITANTE :	RENZO JAIRO CRISOSTOMO CALDERON
DOMICILIO LEGAL :	Mz.C Lt.2 San Francisco Lurigancho, Lima,
SOLICITADO POR :	Renzo Jairo Crisostomo Calderon
SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:	SSA N° 177-19 Cadena de custodia N° 699-19/CERTIMIN
REFERENCIA :	Universidad Peruana Union Carr. Central Km 19.5 Lurigancho - Chosica / Lima / Lima Monitoreo Calidad de Agua
FECHA DE MUESTREO :	2019/04/17
MUESTRA TOMADA POR :	EL CLIENTE
PROTOCOLO :	--
TIPO DE MUESTRA:	Agua Residual Industrial
NÚMERO DE MUESTRAS :	5
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS :	Fascos de polietileno refrigerados y sellados.
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS : RECEPCIONADAS	Muestra en buena condición para el análisis solicitado
FECHA DE RECEPCIÓN :	miércoles, 17 de abril de 2019
IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS :	Según se indica
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO :	2019-04-17 al 2019-04-30
FECHA DE REPORTE :	martes, 30 de abril de 2019
PERIODO DE CUSTODIA :	Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la metodología o norma empleada.


EDGAR NINA-VELÁSQUEZ
Jefe Ambiental
CQP. 729
Lima, 06 de mayo de 2019

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."
"Los resultados de los ensayos 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".
"Los resultados corresponden a las muestras indicadas.
El laboratorio no es responsable de la información proporcionada por el cliente.
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió por parte del cliente."

Anexo 4 - Resultados Informe de Ensayo N° ABR1151.R19 - I



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



Página 2 de 8

INFORME DE ENSAYO
N° ABR1151.R19

Registro N° LE -022

RESULTADOS

Muestras		Elementos														
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Monitoreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µmho/cm	MA1000 Oxig (d)* mg/L	MA1000 T-Aire* °C	MA1000 Turbidez* UNT 1.0	MA0121 Ag (t) mg/L	MA0121 Al (t) mg/L	MA0121 As (t) mg/L	MA0121 Ba (t) mg/L	MA0121 Be (t) mg/L	MA0121 Ca (t) mg/L	MA0121 Cd (t) mg/L
1	TRC-MP-01	2019-04-17 13:55	Agua Residual Industrial	24.7	5.08	38.3	25.30	27	2.0	<0.002	0.04	<0.008	0.008	<0.0003	0.64	<0.001
2	TRC-MP-02	2019-04-17 14:35	Agua Residual Industrial	25.6	5.70	25.0	22.30	27	2.7	<0.002	0.03	<0.008	0.008	<0.0003	0.65	<0.001
3	TRC-P1	2019-04-17 16:55	Agua Residual Industrial	26.7	2.20	27.4	23.50	27	120.0	<0.002	0.83	<0.008	0.394	<0.0003	969.68	<0.001
4	TRC-P2	2019-04-17 16:55	Agua Residual Industrial	26.6	2.70	12700.0	25.40	27	283.0	<0.002	0.58	<0.008	0.818	<0.0003	2271.83	0.001
5	TRC-P3	2019-04-17 14:54	Agua Residual Industrial	26.4	7.00	674.0	22.04	27	20.0	<0.002	0.03	<0.008	0.030	<0.0003	104.48	<0.001

LD: Limite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Limite de Cuantificación del Método LCM.
Las Coordenadas*, Altitud*, T-Aire*, Temperatura*, pH*, Conductiv.*, Oxig (d)*, Turbidez*: son datos proporcionados por el cliente.
Las mediciones de metales se realizaron por cuadruplicado reportándose el promedio.

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.

Anexo 5 - Resultados Informe de Ensayo N° ABR1151.R19 - II



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



Página 6 de 8

INFORME DE ENSAYO
N° ABR1151.R19

Registro N° LE -022

Muestras QC		Elementos													
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MA0121 Mg (t) mg/L 0.02	MA0121 Mn (t) mg/L 0.001	MA0121 Mo (t) mg/L 0.004	MA0121 Na (t) mg/L 0.01	MA0121 Ni (t) mg/L 0.002	MA0121 P (t) mg/L 0.06	MA0121 Pb (t) mg/L 0.01	MA0121 Se (t) mg/L 0.02	MA0121 Sb (t) mg/L 0.008	MA0121 Sn (t) mg/L 0.007	MA0121 Sr (t) mg/L 0.0007	MA0121 Ti (t) mg/L 0.01	MA0121 Tl (t) mg/L 0.05	MA0121 V (t) mg/L 0.003
1	Adición (% Recup.)	95.6	94.8	96.8	91.5	98.2	102.4	96.0	104.0	96.2	97.0	97.6	98.0	92.0	98.0
2	Adición Rango (%)	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0
3	STD - Recuperación Obtenido (%)	97.6	97.4	98.6	99.1	99.0	102.0	96.0	92.0	91.8	95.6	98.8	98.0	94.0	98.8
4	STD - Rango (%)	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0
5	TRC-P3 (Original)	10.05	0.008	<0.004	11.79	<0.002	48.52	0.43	<0.02	<0.008	<0.007	1.5642	<0.01	<0.05	<0.003
6	TRC-P3 (Dup)	10.11	0.008	<0.004	11.86	<0.002	48.06	0.42	<0.02	<0.008	<0.007	1.5698	<0.01	<0.05	<0.003
7	Blanco	<0.02	<0.001	<0.004	<0.01	<0.002	<0.06	<0.01	<0.02	<0.008	<0.007	<0.0007	<0.01	<0.05	<0.003

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Anexo 6 - Control de calidad Ensayo N° ABR1151.R19



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



Página 5 de 8

INFORME DE ENSAYO
N° ABR1151.R19

Registro N° LE -022

CONTROL DE CALIDAD

Muestras QC		Elementos													
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MA0121 Ag (t) mg/L 0.002	MA0121 Al (t) mg/L 0.02	MA0121 As (t) mg/L 0.008	MA0121 Ba (t) mg/L 0.001	MA0121 Be (t) mg/L 0.0003	MA0121 Ca (t) mg/L 0.05	MA0121 Cd (t) mg/L 0.001	MA0121 Ce (t) mg/L 0.02	MA0121 Co (t) mg/L 0.002	MA0121 Cr (t) mg/L 0.004	MA0121 Cu (t) mg/L 0.003	MA0121 Fe (t) mg/L 0.01	MA0121 K (t) mg/L 0.01	MA0121 Li (t) mg/L 0.004
1	Adición (% Recup.)	98.4	100.2	97.0	98.2	96.8	96.9	96.4	96.0	95.8	97.2	94.8	100.0	98.8	97.2
2	Adición Rango (%)	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0
3	STD - Recuperación Obtenido (%)	99.2	100.0	96.8	99.2	98.8	97.6	98.8	100.0	97.8	97.0	96.4	98.0	98.5	99.2
4	STD - Rango (%)	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0
5	TRC-P3 (Original)	<0.002	0.03	<0.008	0.030	<0.0003	104.48	<0.001	<0.02	<0.002	<0.004	0.016	0.18	4.29	0.006
6	TRC-P3 (Dup)	<0.002	0.03	<0.008	0.030	<0.0003	104.05	<0.001	<0.02	<0.002	<0.004	0.016	0.17	4.33	0.005
7	Blanco	<0.002	<0.02	<0.008	<0.001	<0.0003	<0.05	<0.001	<0.02	<0.002	<0.004	<0.003	<0.01	<0.01	<0.004

STD: Estándar de control interno.
Blanco: Blanco reactivo de análisis.
Adición: Muestra fortificada.
Dup: Duplicado de Muestra.

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Anexo 7 - Métodos de ensayo N° ABR1151.R19



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



Página 8 de 8

INFORME DE ENSAYO
N° ABR1151.R19

Registro N° LE -022

METODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO

N°	Descripción			
	Analito	Denominación	Cod. Serv	(1) Norma o Referencia
1	Temperatura *	Temperatura	MA1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part 2550 B. Temperature. Laboratory and Field Methods.
2	pH *	Potencial de Hidrógeno	MA1000	SMEWW APHA- AWWA- WEF 23 rd Ed. 2017. Part-4500-H+ B. pH value. Electrometric Method.
3	Oxig(d) *	Oxígeno Disuelto (Medición en campo)	MA1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part 4500 O G. Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method.
4	Conductiv. *	Conductividad	MA1000	SMEWW APHA- AWWA- WEF 23 rd Ed. 2017. Part 2510 B. Conductivity Laboratory Method.
5	Turbidez*	Turbidez	MA1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part-2130 B. Turbidity. Nephelometric Method.
6	Metales Totales Por ICP OES	Metales Totales Por ICP OES	MA0121	EPA. Method 200.7. Revisión 4.4 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma- Atomic. Emission Spectrometry.
7	T-Aire *	Temperatura Ambiental	MA1000	Protocolo de Parámetros Meteorológicos

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

- (1) SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
 APHA: American Public Health Association.
 AWWA: American Water Works Association.
 WEF: Water Environment Federation.
 EPA: Environmental Protection Agency.
 ASTM: American Society for Testing and Materials.
 ISO: International Organization for Standardization.
 NTP: Norma Técnica Peruana.
 NIOSH: The National Institute for Occupational Safety and Health.

TEL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.

Anexo 8 - Informe de Ensayo N° MAY1124.R19



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-022



Registro N° LE -022

INFORME DE ENSAYO
N° MAY1124.R19

SOLICITANTE :	RENZO JAIRO CRISOSTOMO CALDERON
DOMICILIO LEGAL :	Mz.C Lt.2 San Francisco Lurigancho, Lima,
SOLICITADO POR :	Renzo Jairo Crisostomo Calderon
SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:	SSA N° 225-19 Cadena de custodia N° 875-19/CERTIMIN
REFERENCIA :	Lurigancho / Lima / Lima Universidad Peruana Union - Carr. Central Km 19.5 - Ñaña Monitoreo Calidad de Agua
FECHA DE MUESTREO :	2019/05/16 al 2019/05/19
MUESTRA TOMADA POR :	EL CLIENTE
PROTOCOLO :	--
TIPO DE MUESTRA:	Agua Residual Industrial
NÚMERO DE MUESTRAS :	11
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS :	Frascos de polietileno y vidrio refrigerados y sellados.
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS : RECEPCIONADAS	Muestra en buena condición para el análisis solicitado
FECHA DE RECEPCIÓN :	lunes, 20 de mayo de 2019
IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS :	Según se indica
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO :	2019-05-20 al 2019-05-30
FECHA DE REPORTE :	jueves, 30 de mayo de 2019
PERIODO DE CUSTODIA :	Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la metodología o norma empleada.


EDGAR NINA VELÁSQUEZ
Jefe Ambiental
CQP. 729
Lima, 31 de mayo de 2019

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A.
Los resultados de los ensayos 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.
Los resultados corresponden a las muestras indicadas.
El laboratorio no es responsable de la información proporcionada por el cliente.
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió por parte del cliente.

“EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”

Anexo 9 - Resultados Informe de Ensayo N° MAY1124.R19 - I



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



Página 2 de 8

INFORME DE ENSAYO
N° MAY1124.R19

Registro N°LE -022

RESULTADOS

Muestras		Elementos													
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Monitoreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µmho/cm	MA1000 Oxig (d)* mg/L	MA1000 T-Aire* °C	MA1000 Turbidez* UNT 1.00	MA0121 Ag (t) mg/L 0.002	MA0121 Al (t) mg/L 0.02	MA0121 As (t) mg/L 0.008	MA0121 Ba (t) mg/L 0.001	MA0121 Be (t) mg/L 0.0003	MA0121 Ca (t) mg/L 0.05
1	AB-01-01	2019-05-16 23:37	Agua Residual Industrial	22.7	5.37	4000	6.65	21.0	44.20	<-0.002	0.11	<-0.008	0.229	<-0.0003	788.68
2	WX-01-03	2019-05-16 23:59	Agua Residual Industrial	22.5	5.32	4030	7.23	21.0	66.00	<-0.002	0.05	<-0.008	0.240	<-0.0003	811.19
3	KL-01-03	2019-05-19 19:05	Agua Residual Industrial	22.7	5.62	4000	7.12	18.0	15.60	<-0.002	0.03	<-0.008	0.192	<-0.0003	766.88
4	GM-01-07	2019-05-19 18:20	Agua Residual Industrial	22.9	5.45	4040	6.49	18.0	15.60	<-0.002	0.02	<-0.008	0.200	<-0.0003	791.70
5	PQ-01-02	2019-05-19 19:40	Agua Residual Industrial	22.3	7.18	360	6.13	18.0	5.86	<-0.002	<-0.02	<-0.008	0.012	<-0.0003	40.89
6	RS-01-04	2019-05-19 19:30	Agua Residual Industrial	22.3	7.20	366	6.30	18.0	4.92	0.149	<-0.02	<-0.008	0.012	<-0.0003	41.92
7	DC-01-06	2019-05-19 21:07	Agua Residual Industrial	22.2	5.76	380	6.36	25.0	6.31	<-0.002	0.02	<-0.008	0.012	<-0.0003	40.26
8	TZ-01-08	2019-05-19 22:02	Agua Residual Industrial	22.1	6.39	398	6.01	25.0	8.35	<-0.002	0.03	<-0.008	0.010	<-0.0003	39.58
9	MA-01-01	2019-05-18 09:32	Agua Residual Industrial	10.7	2.64	535	8.25	7.0	1.77	<-0.002	2.05	0.104	0.015	<-0.0003	103.99
10	FH-01-09	2019-05-19 23:23	Agua Residual Industrial	21.8	6.28	1288	5.30	25.0	18.40	<-0.002	<-0.02	<-0.008	0.050	<-0.0003	203.27
11	NP-01-10	2019-05-19 23:36	Agua Residual Industrial	21.6	6.34	1304	6.34	25.0	19.20	<-0.002	<-0.02	<-0.008	0.049	<-0.0003	201.80

LD: Limite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Limite de Cuantificación del Método LCM.
T-Aire*, Temperatura*, pH*, Conductiv.*, Oxig (d)*, Turbidez*: son datos proporcionados por el cliente.
Las mediciones de metales se realizaron por cuadruplicado reportándose el promedio.

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Anexo 10 - Resultados Informe de Ensayo N° MAY1124.R19 - II



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



Página 3 de 8

INFORME DE ENSAYO
N° MAY1124.R19

Registro N°LE -022

N°	Muestras		Elementos																				
	Codigo de Servicio	Elemento	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121			
	Unidad	Unidad	Cd (t)	Ce (t)	Co (t)	Cr (t)	Cu (t)	Fe (t)	K (t)	Li (t)	Mg (t)	Mn (t)	Mo (t)	Na (t)	Ni (t)	P (t)	Pb (t)	Se (t)	Sb (t)	Sn (t)	Sr (t)	Ti (t)	Tl (t)
	Limite de Detección LD	Limite de Detección LD	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	AB-01-01		<0.001	0.11	<0.002	<0.004	0.009	0.51	5.04	0.038	18.31	0.072	<0.004	38.23	<0.002	396.37	1.20	<0.02	0.014	<0.007	6.6686	<0.01	<0.05
2	WX-01-03		<0.001	0.09	<0.002	<0.004	0.006	0.58	5.07	0.040	18.40	0.073	<0.004	34.05	<0.002	410.18	1.61	<0.02	<0.008	<0.007	6.8758	<0.01	0.07
3	KL-01-03		<0.001	0.10	<0.002	<0.004	0.025	0.16	5.23	0.012	25.53	0.045	<0.004	55.12	<0.002	373.39	0.21	<0.02	<0.008	<0.007	7.2196	<0.01	<0.05
4	GM-01-07		<0.001	0.08	<0.002	<0.004	0.024	0.14	5.11	0.007	24.67	0.048	<0.004	53.87	<0.002	392.81	0.16	<0.02	<0.008	<0.007	7.2253	<0.01	<0.05
5	PQ-01-02		<0.001	<0.02	<0.002	<0.004	0.011	0.04	3.17	0.011	5.57	0.006	<0.004	23.04	<0.002	17.30	0.39	<0.02	<0.008	<0.007	0.6256	<0.01	<0.05
6	RS-01-04		<0.001	<0.02	<0.002	<0.004	0.010	0.05	3.26	0.007	5.72	0.007	<0.004	23.46	<0.002	17.81	0.52	<0.02	<0.008	<0.007	0.6446	<0.01	<0.05
7	DC-01-06		<0.001	<0.02	<0.002	<0.004	0.013	0.06	4.06	0.006	6.45	0.009	<0.004	26.98	<0.002	16.86	0.30	<0.02	<0.008	<0.007	0.6298	<0.01	<0.05
8	TZ-01-08		<0.001	<0.02	<0.002	<0.004	0.015	0.06	4.15	0.007	6.59	0.009	<0.004	27.92	<0.002	16.54	0.40	<0.02	<0.008	<0.007	0.6296	<0.01	<0.05
9	MA-01-01		<0.001	<0.02	0.003	<0.004	1.466	12.97	2.11	<0.004	21.28	4.270	<0.004	5.28	<0.002	0.13	0.02	<0.02	<0.008	<0.007	0.3650	<0.01	<0.05
10	FH-01-09		<0.001	0.04	<0.002	<0.004	0.019	0.18	5.60	0.032	12.67	0.022	<0.004	50.60	<0.002	86.71	0.28	<0.02	<0.008	<0.007	2.3792	<0.01	<0.05
11	NP-01-10		<0.001	0.03	<0.002	<0.004	0.022	0.17	5.70	0.034	13.41	0.022	<0.004	55.90	<0.002	86.98	0.47	<0.02	<0.008	<0.007	2.4019	<0.01	<0.05

*EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.

Anexo 11 - Control de calidad Ensayo MAY1124.R19



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



Página 6 de 8

INFORME DE ENSAYO
N° MAY1124.R19

Registro N° LE - 022

Muestras QC		Elementos													
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MA0121 Mg (t) mg/L 0.02	MA0121 Mn (t) mg/L 0.001	MA0121 Mo (t) mg/L 0.004	MA0121 Na (t) mg/L 0.01	MA0121 Ni (t) mg/L 0.002	MA0121 P (t) mg/L 0.06	MA0121 Pb (t) mg/L 0.01	MA0121 Se (t) mg/L 0.02	MA0121 Sb (t) mg/L 0.008	MA0121 Sn (t) mg/L 0.007	MA0121 Sr (t) mg/L 0.0007	MA0121 Ti (t) mg/L 0.01	MA0121 Tl (t) mg/L 0.05	MA0121 V (t) mg/L 0.003
1	Adición (% Recup.)	95.3	91.6	95.0	110.9	96.8	99.6	88.0	104.0	88.8	89.0	91.2	100.0	100.0	101.8
2	Adición Rango (%)	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0
3	STD - Recuperación Obtenido (%)	99.3	97.2	102.2	100.9	101.4	101.6	102.0	92.0	92.4	87.8	100.5	108.0	92.0	99.4
4	STD - Rango (%)	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0
5	PQ-01-02 (Original)	5.57	0.006	<0.004	23.04	<0.002	17.30	0.39	<0.02	<0.008	<0.007	0.6256	<0.01	<0.05	<0.003
6	PQ-01-02 (Dup)	5.60	0.006	<0.004	23.09	<0.002	17.40	0.39	<0.02	<0.008	<0.007	0.6297	<0.01	<0.05	<0.003
7	Blanco	<0.02	<0.001	<0.004	<0.01	<0.002	<0.06	<0.01	<0.02	<0.008	<0.007	<0.0007	<0.01	<0.05	<0.003

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Anexo 12 - Informe de Ensayo N° JUN1043.R19



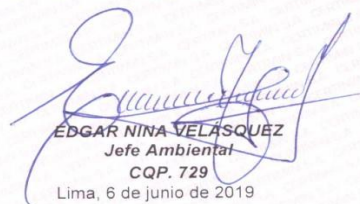
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-022



Registro N° LE -022

INFORME DE ENSAYO
N° JUN1043.R19

SOLICITANTE :	RENZO JAIRO CRISOSTOMO CALDERON
DOMICILIO LEGAL :	Mz.C Lt.2 San Francisco Lurigancho, Lima,
SOLICITADO POR :	Renzo Jairo Crisostomo Calderon
SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:	SSA N° 243-19 Cadena de custodia N° 951-19/CERTIMIN
REFERENCIA :	Lurigancho / Lima / Lima Monitoreo Calidad de Agua Universidad Peruana Union
FECHA DE MUESTREO :	2019/05/26
MUESTRA TOMADA POR :	EL CLIENTE
PROTOCOLO :	--
TIPO DE MUESTRA:	Agua Residual Industrial
NÚMERO DE MUESTRAS :	12
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS :	Fascos de polietileno refrigerados y sellados.
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS : RECEPCIONADAS	Muestra en buena condición para el análisis solicitado
FECHA DE RECEPCIÓN :	lunes, 27 de mayo de 2019
IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS :	Según se indica
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO :	2019-05-27 al 2019-06-06
FECHA DE REPORTE :	jueves, 06 de junio de 2019
PERIODO DE CUSTODIA :	Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la metodología o norma empleada.

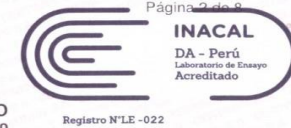

EDGAR NINA VELASQUEZ
Jefe Ambiental
CQP. 729
Lima, 6 de junio de 2019

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."
"Los resultados de los ensayos 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".
Los resultados corresponden a las muestras indicadas.
El laboratorio no es responsable de la información proporcionada por el cliente.
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió por parte del cliente.

Anexo 13 - Resultados Informe de Ensayo N° JUN1043.R19-I



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



INFORME DE ENSAYO
N° JUN1043.R19

Registro N°LE -022

RESULTADOS

Muestras			Elementos												
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad	MON0000 Fecha Monitoreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µmho/cm	MA1000 Oxig (d)* mg/L	MA1000 Turbidez* UNT	MA0121 As (t) mg/L	MA0121 Al (t) mg/L	MA0121 Ba (t) mg/L	MA0121 Be (t) mg/L	MA0121 Ca (t) mg/L	MA0121 Cd (t) mg/L	MA0121 Ce (t) mg/L
Límite de Detección LD															
1	BA-O2-01	2019-05-26 18:56	Agua Residual Industrial	22.2	5.50	4130.0	6.80	26.70	<0.008	<0.02	0.229	<0.0003	830.93	<0.001	0.11
2	QP-O2-02	2019-05-26 17:47	Agua Residual Industrial	22.4	6.90	284.0	6.12	3.47	<0.008	<0.02	0.009	<0.0003	33.65	<0.001	<0.02
3	LK-O2-05	2019-05-26 18:54	Agua Residual Industrial	21.9	5.84	2710.0	21.20	21.00	<0.008	0.08	0.112	<0.0003	491.49	<0.001	0.09
4	CD-O2-06	2019-05-26 18:22	Agua Residual Industrial	22.3	7.29	300.0	6.82	4.50	<0.008	<0.02	0.009	<0.0003	33.16	<0.001	<0.02
5	ZT-O2-08	2019-05-26 21:41	Agua Residual Industrial	20.9	6.80	300.0	7.13	4.60	<0.008	<0.02	0.009	<0.0003	33.51	<0.001	<0.02
6	SR-O2-04	2019-05-26 21:51	Agua Residual Industrial	20.9	7.13	278.0	6.90	3.80	<0.008	<0.02	0.009	<0.0003	33.95	<0.001	<0.02
7	XW-O2-03	2019-05-26 22:47	Agua Residual Industrial	21.2	5.86	1597.0	7.05	24.00	<0.008	0.03	0.066	<0.0003	287.48	<0.001	0.08
8	MG-O2-07	2019-05-26 23:04	Agua Residual Industrial	21.0	6.10	1586.3	7.19	45.00	<0.008	0.03	0.062	<0.0003	275.76	<0.001	0.06
9	HF-O2-09	2019-05-26 23:59	Agua Residual Industrial	21.1	6.70	584.0	7.14	6.90	<0.008	<0.02	0.018	<0.0003	78.10	<0.001	<0.02
10	PN-O2-10	2019-05-26 23:55	Agua Residual Industrial	21.1	6.80	585.0	6.75	7.70	<0.008	0.03	0.019	<0.0003	77.12	<0.001	<0.02
11	DS-O2-11	2019-05-26 23:57	Agua Residual Industrial	20.9	6.78	638.0	6.83	11.00	0.015	0.03	0.022	<0.0003	90.30	<0.001	<0.02
12	SD-O1-11	2019-05-26 23:55	Agua Residual Industrial	20.7	6.74	694.0	6.94	14.00	<0.008	0.03	0.024	<0.0003	101.14	<0.001	<0.02

LD: Límite de Detección (Límite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.
Temperatura*, pH*, Conductiv.*, Oxig (d)*, Turbidez*: son datos proporcionados por el cliente.
Las mediciones de metales se realizaron por cuadruplicado reportándose el promedio.

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

Anexo 14 - Resultados Informe de Ensayo N° JUN1043.R19-II



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



INFORME DE ENSAYO N° JUN1043.R19

Registro N°LE -022

Página 2 de 8

Muestras		Elementos																				
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121		
		Co (t) mg/L	Cr (t) mg/L	Cu (t) mg/L	Fe (t) mg/L	K (t) mg/L	Li (t) mg/L	Mg (t) mg/L	Ag (t) mg/L	Mn (t) mg/L	Mo (t) mg/L	Na (t) mg/L	Ni (t) mg/L	P (t) mg/L	Pb (t) mg/L	Se (t) mg/L	Sb (t) mg/L	Sn (t) mg/L	Sr (t) mg/L	Ti (t) mg/L	Tl (t) mg/L	V (t) mg/L
1	BA-O2-01	<0.002	<0.004	0.009	0.28	2.76	0.013	18.22	<0.002	0.073	<0.004	22.64	<0.002	427.15	0.62	<0.02	<0.008	<0.007	6.6151	<0.01	<0.05	<0.003
2	QP-O2-02	<0.002	<0.004	0.009	0.03	2.19	<0.004	4.89	<0.002	0.004	<0.004	11.80	<0.002	14.69	0.30	<0.02	<0.008	<0.007	0.5361	<0.01	<0.05	<0.003
3	LK-O2-05	<0.002	<0.004	0.016	0.22	3.67	0.008	19.04	<0.002	0.023	<0.004	29.27	<0.002	240.77	0.33	<0.02	<0.008	<0.007	4.7489	<0.01	<0.05	<0.003
4	CD-O2-06	<0.002	<0.004	0.011	0.04	3.10	<0.004	5.55	<0.002	0.004	<0.004	13.95	<0.002	14.80	0.22	<0.02	<0.008	<0.007	0.5443	<0.01	<0.05	<0.003
5	ZT-O2-08	<0.002	<0.004	0.011	0.04	3.11	<0.004	5.68	<0.002	0.004	<0.004	14.40	<0.002	14.88	0.25	<0.02	<0.008	<0.007	0.5379	<0.01	<0.05	<0.003
6	SR-O2-04	<0.002	<0.004	0.009	0.04	2.07	<0.004	4.53	<0.002	0.004	<0.004	11.73	<0.002	14.66	0.59	<0.02	<0.008	<0.007	0.5187	<0.01	<0.05	<0.003
7	XW-O2-03	<0.002	<0.004	0.009	0.16	2.31	<0.004	10.95	<0.002	0.014	<0.004	16.13	<0.002	139.38	0.71	<0.02	<0.008	<0.007	2.7827	<0.01	<0.05	<0.003
8	MG-O2-07	<0.002	<0.004	0.011	0.24	3.30	<0.004	14.19	<0.002	0.013	<0.004	20.63	<0.002	125.41	1.25	<0.02	<0.008	<0.007	2.9688	<0.01	<0.05	<0.003
9	HF-O2-09	<0.002	<0.004	0.013	0.05	2.65	<0.004	7.80	<0.002	0.008	<0.004	20.85	<0.002	32.66	0.44	<0.02	<0.008	<0.007	1.0815	<0.01	<0.05	<0.003
10	PN-O2-10	<0.002	<0.004	0.010	0.06	2.64	<0.004	7.71	<0.002	0.007	<0.004	17.84	<0.002	32.35	0.71	<0.02	<0.008	<0.007	1.0792	<0.01	<0.05	<0.003
11	DS-O2-11	<0.002	<0.004	0.013	0.07	2.82	<0.004	8.79	<0.002	0.009	<0.004	21.33	<0.002	37.87	0.71	<0.02	<0.008	<0.007	1.2445	<0.01	<0.05	<0.003
12	SD-O1-11	<0.002	<0.004	0.012	0.08	2.70	<0.004	8.94	<0.002	0.008	<0.004	19.30	<0.002	42.97	0.61	<0.02	<0.008	<0.007	1.3596	<0.01	<0.05	<0.003

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Anexo 15 - Control de calidad Informe de Ensayo N° JUN1043.R19



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022



INFORME DE ENSAYO
N° JUN1043.R19

Registro N° LE - 022

CONTROL DE CALIDAD

Muestras QC		Elementos													
N°	Codigo de Servicio	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121	MA0121
	Elemento	Ag (t)	Al (t)	As (t)	Ba (t)	Be (t)	Ca (t)	Cd (t)	Ce (t)	Co (t)	Cr (t)	Cu (t)	Fe (t)	K (t)	Li (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.002	0.02	0.008	0.001	0.0003	0.05	0.001	0.02	0.002	0.004	0.003	0.01	0.01	0.004
1	Adición (% Recup.)	100.0	106.2	101.2	99.6	98.5	100.4	92.6	100.0	93.2	94.0	99.6	98.0	106.4	105.6
2	Adición Rango (%)	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0
3	STD - Recuperación Obtenido (%)	99.2	99.3	101.6	98.8	98.4	99.3	99.0	98.0	98.2	98.2	97.4	98.0	99.7	100.8
4	STD - Rango (%)	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0	85.0-115.0
5	MG-O2-07 (Original)	<0.002	0.03	<0.008	0.062	<0.0003	275.76	<0.001	0.06	<0.002	<0.004	0.011	0.24	3.30	<0.004
6	MG-O2-07 (Dup)	<0.002	0.03	<0.008	0.061	<0.0003	273.96	<0.001	0.06	<0.002	<0.004	0.013	0.23	3.27	<0.004
7	Blanco	<0.002	<0.02	<0.008	<0.001	<0.0003	<0.05	<0.001	<0.02	<0.002	<0.004	<0.003	<0.01	<0.01	<0.004

STD: Estándar de control interno.
Blanco: Blanco reactivo de análisis.
Adición: Muestra fortificada.
Dup: Duplicado de Muestra.

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30224, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL, aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2015-PRODUCE, **OTORGA** la presente Renovación de la Acreditación a:

CERTIMIN S.A.

En su calidad de **Laboratorio de Ensayo**

Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-acr-05P-17F, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.

Sede Acreditada: Av. Las Vegas N°845 distrito de San Juan de Miraflores, provincia de Lima y departamento de Lima.

Fecha de Renovación: 02 de mayo de 2015
Fecha de Vencimiento: 02 de mayo de 2019

Registro N° LE-022
Fecha de emisión: 07 de setiembre de 2015
DA-acr-01P-02M Ver. 00


Augusto Mello Romero
Director - Dirección de Acreditación





Certificate of Analysis

Certipur® Certified Reference Material

Producer:	Merck KGaA, Frankfurter Str. 250, 64293 Darmstadt, Germany.
Accreditation:	Merck KGaA, Darmstadt, Germany is accredited as calibration Laboratory according to DIN EN ISO/IEC 17025.
Description of CRM:	Lead standard solution 1000 mg/l Pb
Ord. No.:	1.19776.0500
Lot No.:	HC72674776
Composition:	Pb(NO ₃) ₂ in HNO ₃ Suprapur® 0.5 mol/l
Certified value and uncertainty:	987 mg/kg Pb ± 4 mg/kg Pb Mass fraction (w/w) ± expanded measurement uncertainty The expanded measurement uncertainty U is calculated as $U = k \cdot U_{\text{characterisation}}$, where $k = 2$ is the coverage factor for a 95% coverage probability and $U_{\text{characterisation}}$ is the combined measurement uncertainty in accordance to DIN EN ISO/IEC 17025.
Density:	The density of the standard solution is 1.0128 g/cm ³ at 20°C.
Calculated mass concentration:	999 mg/l Pb
Method of Analysis:	Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES).
Traceability:	This reference material has been measured applying high precision ICP-OES and is directly traceable to the corresponding NIST SRM® 3128, lot 101026. <i>NIST: National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA.</i>
Storage:	Store at +15°C to +25°C tightly closed in the original container.
Application and correct use:	This reference material is intended for use as calibration standard for atomic absorption spectrometry, spectrophotometry and other analytical techniques. Shake well before use and never pipet directly from the original container.
Date of release:	2017/05/04
Minimum shelf life:	2020/04/30

A. Yildirim

Dipl.-Ing. Ayfer Yildirim
(Laboratory Manager)

Resultados Analíticos de las Pruebas de Verificación para Vista PRO

N/S Instrumento: IP 1204 M102
ID Instrumento: LAB1169
Tipo Instrumento: Radial
Versión Software: 4.1.0 b443
Versión firmware: 2.15
Specification Version: 86-101478-00 Issue 5 - May 2000
Presión o flujo de nebulizador: 0.75
Probado por: Angel Olivares
Pruebas completadas en: Noviembre 06, 2018

Contents

Test	Specification
Resolución	PASSED
SBR	PASSED
Precisión	PASSED
Precisión Calibración	PASSED
Límite Detección	PASSED
UV	-
Argon Ratio	-

Approved by:

Date:

Comments:

Angel Olivares Acuña
Field Service Specialist

Anexo 20 - Dosis de bioadsorbente escama Mugil cephalus en placas petri



Anexo 19 - Frascos con muestras para análisis en laboratorio Certimin de Plomo Pb



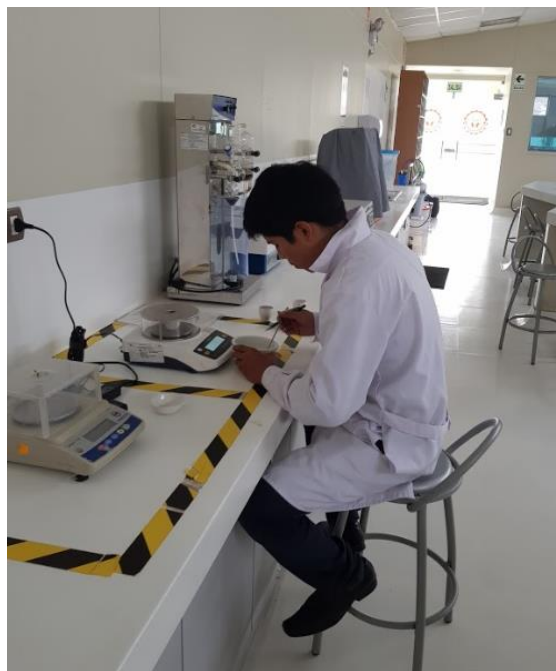
Anexo 21 - Microscopio electrónico de barrido HITACHI UHR FE-SEM Serie SU8230



Anexo 22 - Vista de Microscopía electrónica de barrido de escamas Mugil Cephalus



Anexo 23 Pesado de muestra en laboratorio



Anexo 24 Preparación de HCl y ajuste de pH en laboratorio



Anexo 25 Mezcla de dosis de bioadsorbente



Anexo 26 Medición de turbiedad antes de ser llevadas a laboratorio para su análisis de Pb



Anexo 28 Embolsado de escamas de pescado después del secado artificial



Anexo 27 Prueba de jarras en ejecución

