

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Eficiencia del proceso de electrodiálisis en la eliminación de plomo en aguas del río Torres, Distrito Huallanca, Provincia Bolognesi, Ancash”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Cueva Nazario, Alejandrina

ASESOR: Morales Aquino, Milton Edwin

HUÁNUCO – PERÚ

2022

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2021)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73828440

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44342697

Grado/Título: Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-2250-3288

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Calixto Vargas, Simeón Edmundo	Maestro en administración de la educación	22471306	0000-0002-5114-4114
2	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Valdivia Martel, Perfecta Sofía	Maestro en Ingeniería con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	43616954	0000-0002-7194-3714

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:00 horas del día 04 del mes de NOVIEMBRE del año 2022, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

Mg. SIMEÓN EDUARDO CALIXTO VARGAS (Presidente)
Mg. FRANK ERICK CANARO LLAMOS (Secretario)
Mg. PERFECTA SOFÍA VALDIVIA MARTEL (Vocal)

Nombrados mediante la Resolución N° 2197-2022-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada:

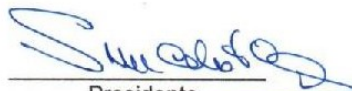
"EFICIENCIA DEL PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS EN LA ELIMINACIÓN DEL PLOMO EN AGUAS DEL RÍO TORRES, DISTRITO DE HUALLANCA, PROVINCIA BOLDONESI, ANCASH"

presentada por el (la) Bachiller ALEXANDRINA CUEVA NAZARIO, para optar el Título Profesional de Ingeniero (a) Ambiental

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo (a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 19 y cualitativo de EXCELENTE (Art. 47)

Siendo las 16:00 horas del día 04 del mes de NOVIEMBRE del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Presidente


Secretario


Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Yo, MILTON EDWIN MORALES AQUINO, asesor(a) del PA. INGENIERIA AMBIENTAL y designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1294-2022-D-FI-UDH del 04 de julio del 2022; de la Bachiller CUEVA NAZARIO, Alejandrina de la investigación titulada **“EFICIENCIA DEL PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS EN LA ELIMINACIÓN DE PLOMO EN AGUAS DEL RÍO TORRES, DISTRITO HUALLANCA, PROVINCIA BOLOGNESI, ANCASH”**.

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del 15 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Antiplagio Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituye plagio y cumple con todas las mas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 19 de noviembre de 2022

Mg. Milton Edwin Morales Aquino

Asesor de tesis

DNI: 44342697

Código ORCID N°

0000-0002-2250-3288

SEGUNDA REVISION

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

distancia.udh.edu.pe

Fuente de Internet

2%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

sostenibilidad.usil.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

es.scribd.com

Fuente de Internet

1%

7

cybertesis.uni.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

9

idoc.pub

Fuente de Internet

<1%

Mg. Milton Edwin Morales Aquino
ASESOR
DNI: 44342697
Código ORCID N°
0000-0002-2250-3288

DEDICATORIA

En primer lugar, me gustaría encomendar es trabajo a mi padre celestial por ser mi guía espiritual que me conduce siempre hacia el camino del bien y el éxito; y por concederme a mis padres y hermanos con mucha salud, y a todas las personas que me han apoyado y creído en mí.

Para mis padres, quienes a lo largo de mi vida se han preocupado por mi bienestar y educación, fueron mi apoyo constante, depositando su confianza en cada desafío que se me presento sin la menor duda sobre mi inteligencia y mis capacidades.

A la Universidad de Huánuco en cuyas aulas logre mi formación personal y profesional.

A la Facultad de Ingeniería y al Programa Académico de Ingeniería Ambiental y al cuerpo docente con cualidades pedagógicas profesionales que encaminaron mi estudio.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mi padre celestial por permitirme tener una experiencia tan buena en la universidad. Agradezco a mi universidad por permitirme convertirme en un experto en el campo que tan me apasiona.

Mediante estos agradecimientos quiero reconocer la labor de mis padres, hermanos, docentes, amigos que estuvieron presentes en todo o en la mayor parte de la realización y el desarrollo de esta tesis, gracias a aquellos que con respeto y decencia realizaron aportes, estoy muy agradecida con todos.

El desarrollo de mi tesis no lo puedo catalogar como algo fácil, pero si puedo afirmar que durante todo este tiempo pude disfrutar de cada momento de investigación, procesos y proyectos que se realizaron dentro de esta.

La vida es Hermosa y una de las principales características de esta hermosura es que la podemos compartir y disfrutar con nuestros seres queridos, podemos ayudar y guiar a muchas personas, si ellas lo permiten, pero también podemos ser ayudados y guiados durante nuestra vida.

La vida misma me demostró que las cosas y actos que yo realice serán los mismos que harán conmigo. Siembra una buena y sincera amistad, disfruta de una agradable vida.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I.....	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.3. OBJETIVO	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEORICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	18
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	21
2.2. BASES TEÓRICAS	21
2.2.1. SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA ACTUAL DEL RÍO TORRES.....	21
2.2.2. EFECTOS AMBIENTALES Y DE SALUD DE PLOMO.....	23
2.2.3. TECNOLOGÍAS EN LA ELIMINACIÓN DEL PLOMO DEL MEDIO ACUÁTICO	25

2.2.4.	LA ELECTRODIÁLISIS COMO PRINCIPIO DE TRATAMIENTO DEL PLOMO	26
2.2.5.	NORMATIVA DEL REGLAMENTO SOBRE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO DE PERSONAS	33
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES	35
2.4.	HIPÓTESIS.....	36
2.4.1.	HIPÓTESIS GENERAL	36
2.4.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	36
2.5.	VARIABLES	37
2.5.1.	VARIABLES DEPENDIENTES	37
2.5.2.	VARIABLES INDEPENDIENTES	37
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES).....	38
CAPÍTULO III		39
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		39
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.1.1.	ENFOQUE	39
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL.....	39
3.1.3.	DISEÑO.....	40
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.2.1.	POBLACIÓN.....	40
3.2.2.	MUESTRA	41
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.3.1.	PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.3.2.	PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	46
3.3.3.	PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	46
CAPÍTULO IV.....		47
RESULTADOS.....		47
4.1.	PROCESAMIENTO DE DATOS	47
4.2.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL	55
4.3.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	59
CAPÍTULO V.....		62

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	62
5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS	62
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	66
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles de calidad organoléptica e inorgánica de calidad de agua para consumo humano	34
Tabla 2 Tabla de Operacionalización de Variables	38
Tabla 3 Diseño de investigación	40
Tabla 4. Coordenadas de los Puntos de Monitoreo de las Aguas del Río Torres	41
Tabla 5 Métodos para caracterizar el agua del río Torres	43
Tabla 6 Materiales, reactivos y equipos utilizados en el desarrollo de la investigación	45
Tabla 7 Descriptivos de la concentración de plomo antes y después del tratamiento con electrodiálisis.....	47
Tabla 8 Descriptivos en los cinco puntos de monitoreo del río Torres antes de su tratamiento	49
Tabla 9 Descriptivos de los cinco puntos de monitoreo en la solución diluida después del tratamiento.....	51
Tabla 10 Descriptivos de los cinco puntos de monitoreo en la solución concentrada después del tratamiento	53
Tabla 11 Prueba de normalidad para los flujos de entrada y salida del proceso	55
Tabla 12 Análisis de varianza de un solo factor.....	56
Tabla 13 Análisis de las comparaciones múltiples.....	56
Tabla 14 Análisis de subconjuntos homogéneos.....	57
Tabla 15 Prueba de t de Student para muestra después del tratamiento	58
Tabla 16 Caracterización de la concentración de plomo antes de su tratamiento	60
Tabla 17 Caracterización de plomo a la salida del tratamiento.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zonas de contaminación al río Torres.....	22
Figura 2 Diagrama del principio de la electrodiálisis	27
Figura 3 Configuración de celdas en serie para electrodiálisis	28
Figura 4 Toma de muestras del río Torres en los cinco puntos	42
Figura 5 Filtrado de las muestras.....	43
Figura 6 Operación del equipo de electrodiálisis	45
Figura 7 Comparación de las medias del pre y pos tratamiento	48
Figura 8 Comparación de las medias en los cinco puntos de monitoreo antes de su tratamiento	50
Figura 9 Comparación de las medias en los cinco puntos de monitoreo después de su tratamiento en la corriente diluida.....	52
Figura 10 Comparación de las medias en los cinco puntos de monitoreo después de su tratamiento en la corriente concentrada	54

RESUMEN

El principal **objetivo** de la investigación fue calcular la eficiencia del proceso de electrodiálisis en la eliminación de plomo, en las aguas del río Torres, Distrito Huallanca, Provincia Bolognesi. Ante esta problemática se mandó a construir una celda de electrodiálisis a nivel laboratorio. La **metodología** empleada tiene un alcance aplicativo con diseño experimental, por consiguiente, para su desarrollo se empleó un módulo compuesto de tres depósitos, una para la solución diluida, otra para la solución concentrada y el resto para la solución de lavado de electrodos, los tres depósitos conectados a la celda electrolítica donde ocurre la migración de iones influenciados por una fuente de corriente eléctrica. La celda se trabajó a las condiciones de 15 voltios, volumen de trabajo de 1 litro para cada depósito, tiempo de tratamiento de una hora y media, 2.5 cm de distancia entre los electrodos, dos membranas aniónicas y una catiónica, el área de los electrodos fue de 8*9 cm². Como **resultado** bajo estas condiciones se alcanzó una eficiencia de 70.73% para la solución diluida, reduciendo la concentración de 0.0246 ppm a 0.0072 ppm, en cambio para la solución concentrada se aumentó la concentración en un 33.33%, llevando de 0.0246 ppm a 0.0328 ppm. Por otra parte, la conductividad se redujo de 0.89 mS/cm a 0.27 mS/cm para la solución diluida y un aumento para la solución concentrada de 0.89 mS/cm a 1.79 mS/cm, en cambio para la solución de lavado de electrodos hubo una pequeña disminución de 17.60 mS/cm a 16.75 mS/cm, con respecto a la intensidad de corriente se redujo de 0.49 amperios a 0.08 amperios. En base a los resultados se **Concluye** que el proceso de electrodiálisis puede ser utilizado como tratamiento eficaz en la eliminación de plomo y obtener agua con restos de plomo que se encuentran por debajo de los LMP, y así se estaría dando una solución al problema de la contaminación de las aguas por metales pesados como el plomo.

Palabras claves: Electrodiálisis, plomo, metales pesados, membrana iónica, eficiencia.

ABSTRACT

The main objective of the research was to calculate the efficiency of the electro dialysis process in the elimination of lead, in the waters of the Torres River, Huallanca District, Bolognesi Province. Faced with this problem, an electro dialysis cell was ordered to be built at the laboratory level. The methodology used has an application scope with experimental design, therefore for its development a module composed of three tanks was used, one for the diluted solution, another for the concentrated solution and the rest for the electrode washing solution, the three tanks connected to the electrolytic cell where the migration of ions occurs influenced by a source of electrical current. The cell was worked under the conditions of 15 volts, working volume of 1 liter for each deposit, treatment time of one hour and a half, 2.5 cm distance between the electrodes, two anionic membranes and one cationic, the area of the electrodes it was 8*9 cm². As a result, under these conditions, an efficiency of 70.73% was reached for the diluted solution, reducing the concentration from 0.0246 ppm to 0.0072 ppm, while for the concentrated solution the concentration was increased by 33.33%, taking it from 0.0246 ppm to 0.0328 ppm. On the other hand, the conductivity decreased from 0.89 mS/cm to 0.27 mS/cm for the diluted solution and increased for the concentrated solution from 0.89 mS/cm to 1.79 mS/cm, while for the electrode washing solution there was a small decrease from 17.60 mS/cm to 16.75 mS/cm, with respect to the current intensity it was reduced from 0.49 amps to 0.08 amps. Based on the results, it is concluded that the electro dialysis process can be used as an effective treatment in the elimination of lead and obtain water with traces of lead that are below the LMP, and thus a solution to the problem of the lead contamination of water.

Key words: Electro dialysis, lead, heavy metals, ionic membrane, efficiency.

INTRODUCCIÓN

Una serie de estudios realizados sobre los efectos del plomo en aguas han demostrado ser tóxicos. Según la Organización Mundial de la Salud la exposición al plomo tiene graves consecuencias para la salud de los niños, además los que sobreviven a una intoxicación grave por plomo pueden padecer secuelas, como discapacidad intelectual o trastornos del comportamiento. Se ha comprobado además que, en niveles de exposición más bajos que no provocan síntomas evidentes, el plomo provoca daños muy diversos en múltiples sistemas del organismo humano (CSEM, 2017).

En las últimas décadas se han estudiado ampliamente una serie de técnicas para eliminar el plomo de las diferentes aguas superficiales. En forma particular la electrodiálisis ha demostrado ser un tratamiento interesante con muchos beneficios frente a los demás tratamientos. La electrodiálisis (ED) es una tecnología impulsada por la electricidad en la que las membranas de intercambio iónico (aniónicas y catiónicas) se disponen alternativamente en un campo de corriente continua (CC), donde los iones de sal se transfieren a través de membranas de intercambio iónico desde el diluido al concentrado lado de la solución bajo la influencia de un potencial eléctrico (Jiang et al., 2018).

La inclinación de la investigación se da porque las aguas del río Torres son una fuente importante para muchas actividades, especialmente para zonas donde la única fuente es el río. Con ello se evaluó la eficiencia del proceso de electrodiálisis en la reducción de la concentración de plomo en diferentes puntos del recorrido del río y hacer una comparación sobre la calidad del agua mediante la normativa D.S N° 031-2010-SA (Normas de Calidad de Agua Potable).

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El plomo por ser un metal pesado altamente nocivo, bioacumulable y no desintegrable presente tanto en forma orgánico como inorgánico se considera un elemento que tiene efectos negativos para personas, animales y plantas, que se manifiestan en los diversos órganos. Una vez que es captado, causan daños en los nervios incluso cuando se expone a niveles bajos, especialmente en bebés y niños y la interferencia en los procesos fisiológicos de las plantas y animales (Lin et al., 2017).

Según la Organización Mundial de la Salud la exposición al plomo tiene graves consecuencias para la salud de los niños. Si el grado de exposición es elevado, el plomo ataca el cerebro y el sistema nervioso central, provoca coma, convulsiones e incluso la muerte. Los niños que sobreviven a una intoxicación grave por plomo pueden padecer secuelas, como discapacidad intelectual o trastornos del comportamiento. Se ha comprobado además que, en niveles de exposición más bajos que no provocan síntomas evidentes, el plomo provoca daños muy diversos en múltiples sistemas del organismo humano.

Desde la opinión de Ali y Khan (2018), en la actualidad, la contaminación de los ríos es un problema grave y emergente en la mayoría de los países en desarrollo debido a la rápida industrialización y sobre todo estas actividades antropogénicas han generado importantes transformaciones en los ambientes acuáticos durante las últimas décadas poniendo en peligro la biota acuática y deteriora la calidad del agua.

La localidad de Huallanca aparte de abastecerse de las fuentes hídricas del río Torres, tiene tres fuentes importantes de manantiales de agua subterránea que lo usan como agua potable, los que nacen en las áreas cercanas a ellas, con respecto a su calidad están entre regular, mala y buena. Sin embargo, con referente a la calidad del río Torres como fuente principal para agua potable tiene una mala calidad, el impacto causado ya sea por el

mismo recorrido del río o la presencia de empresas mineras cercanas al río afectan negativamente sobre su uso, la falta de compromiso en el tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas en las minas tiene un efecto negativo sobre la fuente hídrica.

La presencia de las minas activas y no activas en la zona Unión, a causa de sus drenajes y relaves que originan generan impactos negativos al medio ambiente, afectando a la flora, fauna y zonas urbanas. Entre estos contaminantes se tiene a los metales disueltos como Pb, As, Cu, Zn que se encuentran por encima de LMP, esto los hace una fuente no apta para el consumo doméstico y para los animales (Chira & Vargas, 2011).

En temas de servicio de agua potable y saneamiento en zonas rurales y urbanas es muy preocupante ver la presencia del plomo en aguas tanto para consumo humano y animales y su efecto sobre ellos. Desde los años de 1958 la Organización Mundial de la Salud a estado facilitando periódicamente guías sobre la calidad de agua potable, estas guías indican que la concentración máxima de plomo tiene que ser 0.01 mg/L. Estos requerimientos en zonas alejadas son muy difíciles de llegar, debido a que la mayoría de las aguas para consumo son de fuente natural o aguas superficiales que contienen plomo. Por un lado el DS N° 031-2010-SA sobre Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano establece que el límite máximo permisible de la concentración de plomo es 0.01 mg/L.

En las últimas décadas, han surgido diversas tecnologías para disminuir la concentración de plomo en aguas superficiales, tales como: Sistemas nano catalíticos para remover el plomo y el arsénico (Sadr et al., 2021), proceso de ozonización con peróxido de calcio para eliminar el plomo, cobre, níquel, zinc y cadmio (Honarmandrad et al., 2020), eliminación de plomo por síntesis de zeolita a partir de la ganga de carbón (Bu et al., 2020), adsorción de plomo por medio natural y adsorbentes sintéticos (Shaikh, 2020), reducción de plomo por fitorremediación (Gupta et al., 2020), reducción de plomo en agua potable mediante método electroquímico (Surucu, 2021). Como una alternativa que cada vez toma más fuerza es la electrodiálisis, con esta técnica se pueden tratar aguas superficiales que contienen metales pesados (ddin et al., 2019).

La electrodiálisis (ED) es una tecnología bien considerada para el tratamiento de contaminantes persistente para su operación sin esfuerzo, bajo costo de proceso, y alta eficiencia de remoción (Jiang et al., 2018). La electrodiálisis implica la eliminación de los iones de una solución acuosa a través de las membranas de intercambio iónico bajo la influencia de una diferencia de potencial eléctrico (Sadyrbaeva, 2019).

El objetivo de este trabajo va a la demostración de la eficiencia de una tecnología amigable, mediante el proceso de electrodiálisis con tres membranas y electrodos de titanio tanto para ánodo y cátodo. El estudio se realizó sobre aguas reales en función de la reducción de la concentración de plomo a nivel laboratorio.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la eficiencia del proceso de electrodiálisis en la eliminación de plomo en las aguas del río Torres, Distrito Huallanca, Provincia Bolognesi, Ancash?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es la concentración de plomo en las aguas del río Torres antes de su tratamiento en los cinco puntos de monitoreo?
- ¿Cuál es la concentración de plomo después de su tratamiento con electrodiálisis en las corrientes de solución diluida y concentrada?

1.3. OBJETIVO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Calcular la eficiencia del proceso de electrodiálisis en la eliminación de plomo en las aguas del río Torres, Distrito Huallanca, Provincia Bolognesi, Ancash.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de plomo en las aguas del río Torres antes de su tratamiento en los cinco puntos de monitoreo.
- Determinar la concentración de plomo después de su tratamiento con electrodiálisis en las corrientes de solución diluida y concentrada

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los problemas más desafiantes de las últimas décadas es la presencia de metales pesados en las aguas superficiales, debido a su toxicidad tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Debido a la dificultad de eliminar estos metales, es necesario introducir métodos de tratamiento más efectivos.

Con respecto a la calidad del agua, el plomo es un metal muy tóxico que causa daños a todo el ecosistema, de tal modo que los beneficiarios de este estudio serán todos los seres vivos al consumir agua sin la presencia de estos metales tóxicos, también ayudará a las personas a tener una buena calidad de vida y bienestar a la población en general.

El río Torres al recorrer varios centros poblados, es centro o fuente de agua para consumo de animales, utilizada para la agricultura y por último en casos excepcionales para consumo humano, frente a ello se tiene conocimiento que alrededor del río existen minas activas y no activas, muchos de ellos llegando a contaminar el río con una serie de metales tóxicos, evidenciándose que algunos metales entre ellos el plomo están por encima de los límites máximos permisibles para consumo humano, por lo tanto en vista de este problema se trabajó la investigación para dar una solución ventajosa.

En este contexto, el empleo del proceso de electrodiálisis proporciona una opción de atenuación viable para el tratamiento de una amplia gama de metales como el plomo. Las ventajas que tiene este método sobre otras tecnologías es su bajo costo, alta eficiencia, minimización de productos químicos y posible amplia utilización para otras aplicaciones. (Scarazzato et al., 2020).

Por otra parte, este trabajo tendrá una utilidad metodológica, ya que podrían realizarse futuras investigaciones que utilizarán metodologías compatibles, de manera que se posibilitarán análisis en conjunto, comparaciones entre periodos temporales concretos y evaluaciones de las intervenciones sobre la contaminación por metales.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la siguiente investigación se presentaron algunas de las siguientes limitaciones:

- Una de las limitaciones es con respecto a los electrodos empleados, se envió a comprar los electrodos a otro país (China), y para poder conocer más sobre el material y poder caracterizarlo no se contaron con equipos adecuados, de modo que sólo con las especificaciones enviadas se realizaron las investigaciones.
- Otra de las limitaciones es por la compra de las membranas, se tuvo que buscar a investigadores quienes han realizado trabajos similares en el tema, para que nos faciliten por la compra de las membranas.
- Con respecto a la accesibilidad de las muestras, se han limitado algunas zonas por estar resguardados por personas de seguridad que trabajan en las minas, se tuvo que recurrir a algunas estrategias para recoger las muestras en las zonas indicadas.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación es viable socialmente, ya que al realizar este estudio la población será favorecida, dado que esta alternativa de tratar el agua contaminada por metales pesados mejorará la calidad de vida, tanto a la población actual como a las generaciones futuras, incluso este método de electrodiálisis no solo se puede emplear para aguas superficiales, si no para efluentes industriales, de tal modo que la población mostrara interés por el presente estudio.

Ambientalmente es viable ya que con la aplicación de este estudio se redujo la contaminación de agua no solo el plomo sino también otros metales pesados.

Fue viable económicamente porque los costos fueron asumidos por mi persona de forma integral y por otra parte en base a los resultados obtenidos es viable económicamente para la flora, fauna, salud de las personas y al medio ambiente.

Con referente a la viabilidad técnica, el proceso de tratamiento se llevó a cabo con el apoyo necesario de especialistas tanto en el procedimiento experimental y análisis de laboratorio para su cuantificación de plomo.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Gherasim et al (2014), en su publicación de “Investigation of batch electro dialysis process for removal of lead ions from aqueous solutions”, como objetivo se alcanzó evaluar la remoción de plomo de agua residual modelo para cumplir con la normativa de límite reglamentario para la descarga de las aguas residuales, como parte de la metodología tuvieron que optimizar los parámetros operacionales del módulo de electrodiálisis a escala discontinuo tales como el voltaje aplicado, el caudal, la temperatura y la concentración inicial de la muestra modelo sobre la eficiencia de separación de plomo y el consumo de energía. Como resultado sobre la optimización del módulo a las condiciones de 10 voltios, 70 litros/hora, 25° C y concentraciones de 500 a 1000 mg/L se llegó a reducir a 1 a 2 mg/L de plomo. Como conclusión el proceso de electrodiálisis por lotes investigado demostró ser capaz de realizar una eliminación eficaz de iones de plomo con una eficiencia energética ventajosa, condiciones que también conducen a aguas residuales no tóxicas con concentraciones de metales muy cercanas al límite adecuado para vertidos al medio ambiente. La solución concentrada resultó después de que la DE es adecuada para una mayor recuperación de metales.

Mohammadi et al (2004), en su publicación de “Effect of operating parameters on Pb^{2+} separation from wastewater using electro dialysis”, el objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de los parámetros operacionales de un módulo de electrodiálisis sobre un efluente proveniente de la industria de baterías. La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación corresponde en el empleo de un módulo de electrodiálisis con electrodos de platino para ambos electrodos,

membranas iónicas de catión y anión, los factores estudiados son el caudal, la temperatura, voltaje y las concentraciones iniciales de plomo y utilizaron dos tipos de membranas comerciales para eliminar el plomo con tres niveles para cada factor. Como resultado reportaron que el aumento de voltaje y temperatura mejoró el rendimiento de la celda; sin embargo, el porcentaje de separación disminuyó con un aumento de la tasa de flujo. A concentraciones de más de 500 ppm habrá dependencia del porcentaje de separación de la concentración disminuido y también el uso de membranas con mayor capacidad de intercambio iónico resultó en un mejor rendimiento de la celda. Como conclusión al emplear un mayor número de membranas causan un mayor porcentaje de separación de metales.

Min et al (2021), en su publicación de “haracteristics of heavy metal separation and determination of limiting current density in a pilot-scale electro dialysis process for plating wastewater treatment”, generaron como objetivo estudiar el efecto de la velocidad lineal en la remoción de metales pesados sobre efluentes provenientes de una galvanoplastia. La metodología empleada se basó en el empleo de un módulo a nivel de planta piloto de sistema batch, donde se utilizaron 15 pares de membrana de intercambio iónico tanto aniónico y catiónico, para los electrodos con enchapados de platino se utilizaron una fuente de alimentación continua. Como resultado en los experimentos vieron que al aumentar la velocidad de flujo lineal de 0,6 a 5,1 cm / min afecta el aumentó el en voltaje de 17.3 a 40 V. Además, la densidad de corriente límite (LCD) mostró una relación lineal con la velocidad de flujo lineal, aumentando de 1.4 a 5.9 A / m² a medida que la velocidad de flujo lineal aumentaba proporcionalmente en el mismo rango de voltaje. Como conclusión los iones en el concentrado deben mantenerse a un nivel adecuado para que el proceso se lleve adecuadamente, por otra parte, los iones de cobre se depositan en la superficie del electrodo del cátodo.

Abou-Shady et al (2012), en su trabajo publicado de “Effect of pH on separation of Pb (II) and NO³⁻ from aqueous solutions using

electrodialysis”, propusieron como objetivo remover los iones de plomo y nitrato en aguas modelo a nivel laboratorio mediante la electrodiálisis, para ello utilizaron una metodología basada en la construcción de un módulo a escala laboratorio donde se emplearon electrodos de grafito y 11 pares de membranas iónicas entre aniónicas y catiónicas, se estudiaron el efecto de pH en la separación de los iones sobre la relación de concentraciones, polarización de concentración limitada, eficiencia de la corriente y consumo de energía. Los resultados mostraron que a un pH entre 3 y 5 el sistema era el más eficaz para eliminar estos iones. Además, la distribución de iones entre los sitios cargados en las superficies de las membranas se regía por el pH. A potenciales eléctricos bajos de 10 V, el intercambio iónico / adsorción fue el fenómeno predominante que se produjo en las superficies de las membranas, mientras que a voltajes superiores a 25 V las membranas se regeneraron. Concluyendo que mediante este sistema utilizando las membranas de intercambio catiónico y aniónico podrían usarse para el tratamiento del agua a bajos voltajes, luego se pueden regenerar a voltajes más altos.

Kum et al (2020), mediante su publicación de “Separation characteristics of cations and natural organic matter in Electrodialysis”, como objetivo planearon obtener agua potable a partir de agua con carga orgánica e iones metálicos mediante el proceso de electrodiálisis. Para poder desarrollar la investigación se empleó una metodología correspondiente en el uso de tres tipos diferentes de membrana de intercambio iónico, 2 fuentes disponibles de materia orgánica disponibles comercialmente todos en presencia de calcio y magnesio sobre una celda electrolítica. Los resultados obtenidos de alta efectividad se dio sobre la separación de tierras alcalinas, iones metálicos sin separación de materia orgánica. Concluyendo que las membranas de intercambio catiónico con alta capacidad de intercambio, alta selectividad para los cationes divalentes es deseables, y las membranas de intercambio aniónico y catiónico deben tener una baja afinidad por la adsorción orgánica.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Bazán (2017), en su publicación de tesis “Influencia de los parámetros de operación de un módulo de electrodiálisis en la desmineralización de agua de purga de caldero”, como objetivo fue estudiar los efectos de los parámetros sobre la reducción de iones calcio y magnesio en aguas residuales provenientes del caldero, como parte de la metodología para llegar al objetivo se empleó un módulo de electrodiálisis, con electrodos de platino, las muestras se recogieron de 6 industrias donde utilizan calderos industriales, para evaluar los parámetros sobre la reducción de la dureza total se empleó el diseño Taguchi de tres variables como el voltaje, calidad inicial del agua tratado y el flujo de alimentación hacia las celdas electrolíticas, cada una de ellas con tres niveles experimentales. Los resultados que arrojaron fue el factor de mayor influencia es el voltaje sobre la reducción de la dureza del agua residual, seguido de la conductividad del agua, como conclusión por lo tanto mediante un módulo de electrodiálisis se puede llevar la calidad del agua a una apta para su desecho a la red pública de alcantarillado según los VMA vigentes, a varios parámetros de operación de un módulo de electrodiálisis.

2.2. BASES TEÓRICAS

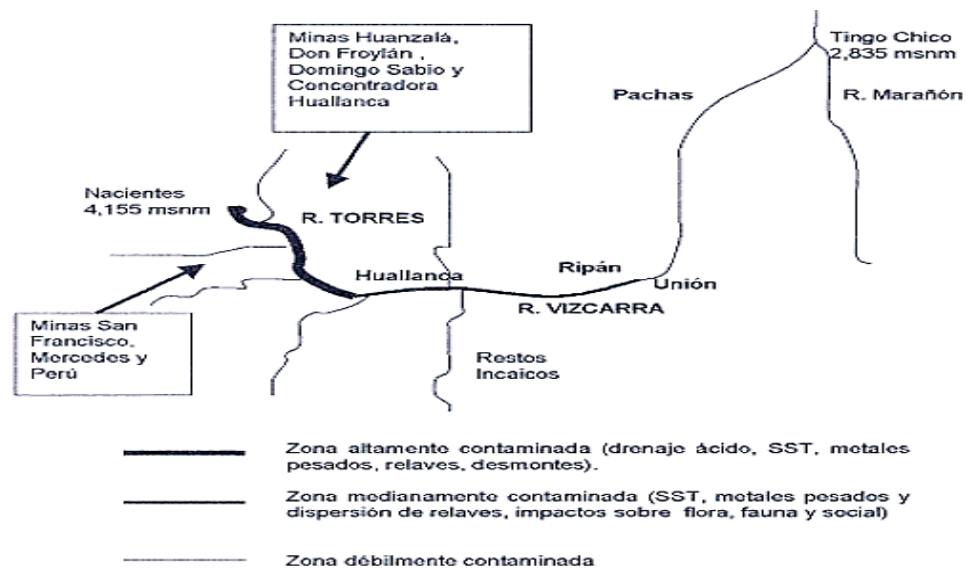
2.2.1. SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA ACTUAL DEL RÍO TORRES

El río Torres nace a consecuencia de los deshielos de la cordillera Huayhuash del Océano Atlántico y que desemboca en el río Marañón. Durante su recorrido se juntan pequeños ríos como Palmar, Tanash y riachuelos como Chocopata, Cachina, etc, todos ellos hacen que incremente el caudal hasta llegar a la laguna Contaycocha.

La hidrología del río Torres llega hasta la localidad de Huallanca, uniéndose con el río San Juan para formar el río Vizcarra, durante este trayecto muchas comunidades aprovechan este elemento valioso para diferentes actividades uno de ellos es la agricultura, para los sembríos como la papa, maíz, trigo, etc. y crianza de animales. Por otra parte, este

río pasa por zonas que tienen altas concentraciones de carbonatos, creados por las instalaciones mineras ya sea activas y no activas, dichas minas generan una contaminación variada por aguas ácidas, metales pesados, sólidos suspendidos totales, etc. Cabe aclarar estas contaminaciones son generadas por los procesos que se encuentran expuestos al intemperismo. Por ejemplo, estas aguas antes de cruzar el poblado de Huallanca presentan color amarillento y esto se debe a la presencia de óxidos de hierro en suspensión y con pH ácido. En la figura 1 se muestran algunas zonas de contaminación del río Torres por mineras activas y no activas.

Figura 1
Zonas de contaminación al río Torres



Nota. Fuentes de contaminación por las mineras al río Torres (MINEM & DGAA, 1998).

Parte arriba del río Torres se localiza el centro minero Huanzala, con diversas instalaciones de compañías como Minera Santa Luisa S.A. (subsidiario de la empresa japonesa Mitsui) que cuenta con más de 25 años de funcionamiento, dichas compañías de alguna otra manera influyen en la calidad del río Torres, por otro lado, existen descargas con flujos de 2L/s de drenajes acidificados que provienen de dos minas en abandono, quienes afectan directamente sobre la calidad del río en estudio.

En la tesis realizada de “Dispersión relativa de metales pesados en la cuenca alto del río Torres-Vizcarra” por Fernández (2011) luego de haber caracterizado, encontraron trazas altas de metales pesados como cobre, plomo, zinc, cadmio, cromo y vanadio, se considera que provienen de fuentes de depósitos de minerales polimetálicos, y que están relacionados a la existencia de las minas activas como Huanzalá y Pucarrajo y minas no activas como Mercedes y San Francisco.

Por otra parte, en la tesis realizada por Valverde (2002), llegaron a la conclusión de que las aguas del río Torres presentan contaminación proveniente de las minas a través de las aguas residuales, que tienen características ácidas, presencia de metales pesados y sólidos suspendidos, estos aspectos de relevancia influyen directamente a la fauna del agua, a la actividad del campo y pobladores cercanas al río. No sólo eso la zona colmatada de Huanzalá de sedimentación y los relaves que están en contacto directo con el medio ambiente presentan oxidación y generan drenajes ácidos, del mismo modo la acumulación de hierro en la laguna Contaycocha afectando sobre la extinción de la especie acuática. Por lo tanto, las aguas del río Torres llegan con altos valores de sólidos suspendidos y concentraciones de metales pesados tóxicos.

2.2.2. EFECTOS AMBIENTALES Y DE SALUD DE PLOMO

El plomo (Pb) es un metal pesado altamente nocivo, no desintegrable, de color gris azulado, con un número atómico número atómico de 82, peso molecular de 207,2, densidad de 11,34 g/cm³ y un punto de fusión de 621,43 °F. Puede ser fácilmente moldeado y utilizado para formar aleaciones mediante la mezcla con otros metales. Puede existir tanto en forma orgánica como inorgánica (Kumar et al., 2020).

Los metales pesados se están convirtiendo en uno de los problemas ambientales más graves debido a su persistencia, su toxicidad biológica, su no degradabilidad y su capacidad para entrar en el medio ambiente biológico, su no degradabilidad y su capacidad para

entrar en la cadena alimentaria. Además, se ha descubierto que los contaminantes de metales pesados reaccionan con algunas sustancias orgánicas en determinadas condiciones para convertirlas en contaminantes complejos metal-orgánicos (Maceda-Veiga et al., 2013).

Los metales pesados como el plomo en el agua potable son nocivos para el ser humano, por lo tanto para proteger a los consumidores, se ha establecido la concentración máxima permitida de plomo en el agua. El plomo puede causar daños en los nervios incluso cuando se expone a niveles bajos de plomo, especialmente en bebés y niños (Lin et al., 2017). Como elemento no esencial en el metabolismo de las plantas, la toxicidad del plomo suele estar relacionada con los procesos fisiológicos, en los que interfiere con las funciones normales de las células a los órganos, incluyendo la germinación de las semillas y el retraso del crecimiento, la deficiencia de agua, los trastornos nutricionales y la reducción de la fotosíntesis, respiración y transpiración (Hu et al., 2012). Se sabe que la exposición al plomo también puede dar lugar a la producción excesiva de especies reactivas de oxígeno (ROS) que potencialmente destruyen las membranas, los lípidos, los ácidos nucleicos y las proteínas y además, la toxicidad del plomo depende en parte de sus actividades biológicas, que están relacionadas con las distribuciones subcelulares y las formas químicas de las células vegetales (Hu et al., 2012).

Como afirma Demayo et al (1982), en el caso de plantas, los efectos de toxicidad del plomo dependen de las concentraciones y el tipo de plomo, los tiempos de exposición y los tipos ecológicos y las especies de plantas implicadas, incluso dosis muy pequeñas pueden ser tóxicas para los organismos, aunque las concentraciones de plomo en el agua no suelen superar los 0,6 $\mu\text{mol/L}$, también se ha informado de altas concentraciones de exposición (por ejemplo, 4,3 $\mu\text{mol/L}$), por lo tanto, es de gran importancia estudiar los criterios biológicos acuáticos del plomo.

2.2.3. TECNOLOGÍAS EN LA ELIMINACIÓN DEL PLOMO DEL MEDIO ACUÁTICO

En los últimos años, los metales pesados en las aguas residuales son un problema importante en el medio ambiente, porque el alto riesgo se asocia con los ecosistemas y la salud humana incluso a una concentración muy baja. Las industrias como la papelera, la de los pesticidas, la de los curtidos, la de los revestimientos metálicos, la minería, etc., vierten efluentes de metales pesados como el plomo en el entorno, que son no biodegradables y tóxicos o perjudiciales para la fisiología humana y otros sistemas biológicos y dicho metal tóxico puede permanecer en forma química o mixta, por lo que es difícil eliminarlos de las aguas contaminadas (Han et al., 2016).

Los métodos biológicos, físicos y químicos se utilizan ampliamente en el tratamiento de los contaminantes orgánicos, sin embargo estos métodos no son adecuados para los contaminantes inorgánicos como los metales pesados. Debido a sus cualidades, como la solubilidad, las características de oxidación-reducción y la formación de complejos, la descomposición de los metales pesados es un problema importante. (Lee & Dhar, 2012).

Por ser tóxico y provocar una serie de daños mediambientales la eliminación de este metal es obligatoria para reducir los riesgos públicos. Para limitar el nivel de contaminación del agua, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) han establecido el nivel de descarga del metal más admisible en el medio ambiente. Sin embargo las aguas que contienen una concentración de este metal es superior a los límites permitidos lo que obliga a ser tratados (Femina et al., 2017).

Por lo tanto, para proteger la seguridad ambiental, se crearon varios métodos de tratamiento que se han convertido en un importante área de investigación. Cada tecnología tiene ciertas ventajas y desventajas. Por ejemplo el intercambio de iones, la extracción con

fluidos supercríticos, la adsorción, la filtración, la electrodiálisis, la precipitación, el sistema microbiano, el proceso electroquímico, un proceso de oxidación avanzada y biorreactores de membrana son las técnicas más desafiantes y seguras disponibles para la eliminación de metal pesado plomo (Lesmana et al., 2009).

2.2.4. LA ELECTRODIÁLISIS COMO PRINCIPIO DE TRATAMIENTO DEL PLOMO

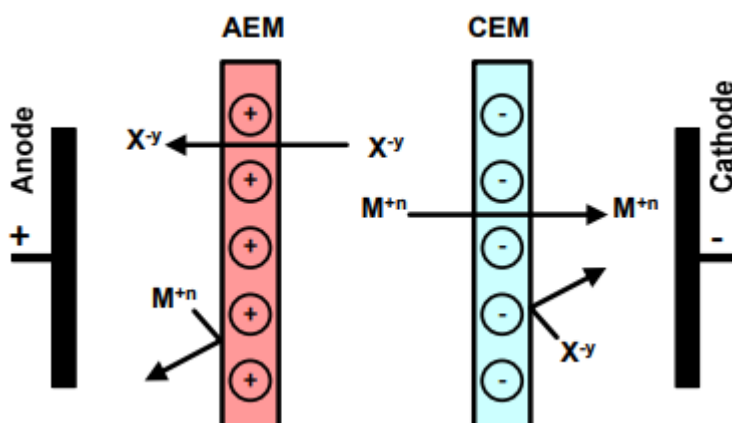
La electrodiálisis es un proceso de separación por electromembrana que se aplica para eliminar contaminantes iónicos de soluciones acuosas. Normalmente, la corriente de alimentación en las unidades de electrodiálisis es una solución salina que se convierte en dos flujos de productos: una solución desalada y una solución concentrada. La fuerza motriz para la transferencia de iones es una diferencia en el potencial eléctrico eléctrica y la transferencia de masa tiene lugar a través de las membranas de intercambio iónico, que tienen dos funciones diferentes: separar las diferentes corrientes acuosas y facilitar el transporte de iones desde los compartimentos diluidos hacia los concentrados.

Las membranas de intercambio iónico consisten en películas poliméricas con grupos iónicos unidos que las hacen permeables a los iones de signo contrario. En concreto, las membranas de intercambio aniónico llevan cargas fijas positivas (por ejemplo, $-N^+(CH_3)_3$) y permiten el paso de aniones, mientras que las membranas de intercambio de cationes tienen cargas fijas negativas (por ejemplo, $-SO_3^-$) y permiten el paso de cationes. El principio básico de una unidad de electrodiálisis se muestra en la Figura 2 cuando se aplica un campo eléctrico entre el cátodo y el ánodo, los iones del electrolito son conducidos por la diferencia de potencial hacia diferentes compartimentos. Los cationes (M^{n+}) son transportados a través de las membranas de intercambio catiónico atraídos por el cátodo, y los aniones (X^{y-}) son transportados a través de membranas de intercambio aniónico atraídas por el ánodo. Sin embargo, cuando los iones se enfrentan a la superficie de una

membrana con la misma polaridad, son rechazados y retenidos en los compartimentos de alimentación. En consecuencia, cuando las membranas de intercambio de aniones y cationes son colocados de manera secuencial la concentración del electrolito aumenta en los compartimentos alternativos (concentrado) mientras que las otras soluciones se quedan sin iones (diluidas).

Figura 2

Diagrama del principio de la electrodiálisis



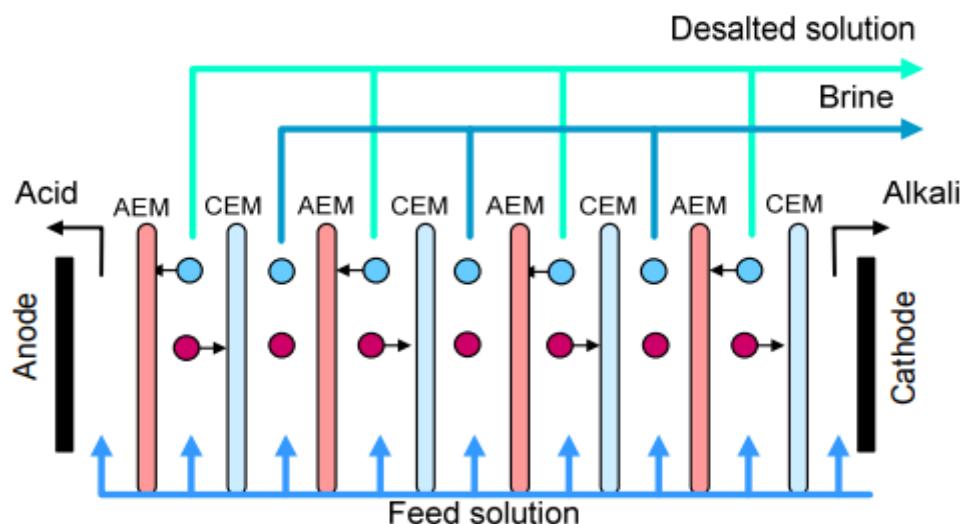
Nota. Esquema de una celda de electrodiálisis y sus principios de funcionamiento. Extraído (Martí, 2014).

La parte más básica de un sistema de electrodiálisis consiste en una sola celda unitaria o un par de celdas. El par de células consta de una membrana de intercambio de aniones y de cationes, que separan diferentes compartimentos de electrolitos. Además, la unidad de electrodiálisis tiene dos electrodos, el cátodo y el ánodo, puede funcionar con corriente constante (galvanostática) o con diferencia de tensión constante entre el cátodo y el ánodo, y el flujo de iones a través de las membranas puede ser incrementa al aumentar la fuerza del campo eléctrico aplicado. Sin embargo, el flujo de iones suele estar limitada por el aumento de la resistencia eléctrica del sistema, especialmente debido a la disminución de la conductividad en los compartimentos de agotamiento. Para obtener un uso más eficiente de la corriente, el número de pares de celdas instaladas entre los dos los electrodos se pueden aumentar, como se muestra en la Figura 3. Estas

configuraciones se denominan pilas y puede estar compuesto por más de cien pares de células. La solución de alimentación se divide en diferentes soluciones desaladas y concentradas que fluyen alternando compartimentos y luego se recogen por separado.

Figura 3

Configuración de celdas en serie para electrodiálisis



Nota. Esquema de la configuración en membranas y electrodos en banco. Extraído (Martí, 2014).

Baker (2004) considera que el progreso en electrodiálisis se ha asociado con el desarrollo de membranas de intercambio iónico con mejores propiedades mecánicas y químicas. Los avances en química de polímeros durante la década de 1950 permitieron la producción de membranas de intercambio iónico con selectividad mejorada en la práctica de proceso. Hasta ahora, se han realizado avances significativos en términos de apilamiento diseño, optimización de parámetros de operación y membranas de intercambio iónico; a tal medida que hoy en día la electrodiálisis se considera una tecnología madura.

De acuerdo a Strathmann (2010), los procesos de electrodiálisis se utilizan a gran escala industrial y pueden considerarse como tecnología de punta. Sin embargo, los procesos de electromembrana

están creciendo rápidamente como una serie de nuevas aplicaciones relacionadas con la energía y los procesos industriales han sido identificados. Estas nuevas aplicaciones están despertando el interés por la investigación fundamental sobre los fenómenos de transporte de masas a través del intercambio iónico, así como en el desarrollo de nuevos tipos de membranas. Algunos de las más aplicaciones emergentes de los procesos de electromembrana se resumen a continuación:

Electrodiálisis bipolar: Estos procesos se aplican para obtener ácidos y bases de sales concentradas. Han encontrado aplicación en la valorización de efluentes como salmueras de ósmosis inversa, así como en la valorización de ácidos de los procesos de fermentación (Wiley, 2001).

Pilas de combustible microbianas: Esta tecnología permite degradar la materia orgánica y generar electricidad simultáneamente (Logan & Rabaey, 2012).

Electrodiálisis inversa: Este proceso se basa en la mezcla de agua de mar con agua del río a través de membranas de intercambio iónico para producir electricidad. La gradiente de potencial electroquímico asociado al proceso de mezcla genera una corriente eléctrica entre el cátodo y el ánodo (Pawlowski et al., 2014).

Electrodeionización: Este proceso se aplica para eliminar contaminantes de nivel de corrientes diluidas. El principio es el mismo que en la electrodiálisis, pero en este caso, los compartimentos diluidos se llenan con lechos de intercambio iónico para reducir la resistencia eléctrica de la celda (Baker, 2004).

Además de los procesos enumerados, una de las aplicaciones más prometedoras de La electrodiálisis es el tratamiento de aguas residuales que contienen metales. En este sentido, la electrodiálisis puede considerarse una tecnología respetuosa con el medio ambiente, ya que no solo permite la remoción de metales pesados de efluentes

industriales, pero también facilita su recuperación y reutilización como recursos de valor añadido. En comparación con otras existentes tecnologías, que se centran en la eliminación de metales pesados de las corrientes acuosas, pero impliquen la generación de lodos o residuos destinados a disposición final, la electrodiálisis es una tecnología más sostenible. Sin embargo, los procesos industriales en los que el metal que contienen los efluentes que se producen pueden variar significativamente, lo que complica las operaciones de electrodiálisis. Por lo tanto, es importante identificar los principales desafíos de procesos de electromembrana aplicados al tratamiento de soluciones que contienen metales para hacerlos económicamente más competitivos.

Según la Comisión Europea (2006), las mejores tecnologías disponibles para el tratamiento de efluentes industriales que contienen metales pesados incluyen la ósmosis inversa, la precipitación química de metales mediante la adición de hidróxidos, el uso de resinas de intercambio iónico y técnicas de evaporación. Las técnicas electrodiálíticas implican algunas ventajas en relación a estas tecnologías, que se resumen a continuación:

La electrodiálisis no implica cambios de fase para promover la química separación. En consecuencia, los costes energéticos son significativamente inferiores a los de técnicas evaporativas.

A diferencia de los procesos de membrana impulsados por presión, la electrodiálisis implica la separación de especies en diferentes compartimentos en función de su carga iónica. Este tipo de separación permite la conversión de las aguas residuales en rentables arroyos, por ejemplo, las impurezas metálicas acumuladas en el cromado baños (Ni^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , etc.) y el Cr (VI) presente en forma de aniones ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-} , HCrO_4^-) se pueden concentrar en diferentes compartimentos, de modo que el el cromo regenerado se puede reutilizar en el proceso de recubrimiento. Por el contrario, en ósmosis inversa la separación de aniones y cationes no es posible y la presencia de impurezas en los concentrados hace inviable su reutilización en la industria.

La electrodiálisis puede ser operada en modo continuo, haciendo factible su integración como parte de los procesos industriales. La adaptabilidad y flexibilidad de electrodiálisis es relativamente alto debido a la modularidad y fácil monitoreo de los parámetros de operación. En este sentido, otras tecnologías como el uso de lechos de intercambio o la precipitación química son procesos por lotes, lo que implica el reemplazo frecuente de las resinas de intercambio iónico y los pasos adicionales para la eliminación de lodos.

A diferencia de la precipitación química o el uso de lechos de intercambio iónico, en electrodiálisis, la corriente eléctrica se utiliza como reactivo y no se requieren la adición de productos químicos. Además, el uso de la energía fotovoltaica para alimentar los sistemas de electrodiálisis podría aumentar la sostenibilidad de electrodiálisis y ampliar su aplicabilidad a los países en desarrollo. En ósmosis reversa, también se agregan productos químicos para limpiar las membranas sucias. Sin embargo, en el caso de las membranas de electrodiálisis, el ensuciamiento puede eliminarse fácilmente, cambiando periódicamente la polaridad de los electrodos junto con las corrientes concentradas y diluidas mediante el uso de válvulas conmutables automáticas. Este tipo de electrodiálisis se conoce como electrodiálisis inversa y no requiere la adición de reactivos para limpiar las membranas.

La generación de residuos se minimiza en la electrodiálisis. Los arroyos desalados pueden reutilizarse como fuente de agua limpia, mientras que las corrientes concentradas pueden normalmente utilizarse en procesos industriales como recursos valiosos. Esta ventaja aumenta la sostenibilidad de los procesos de electromembrana.

A pesar de las ventajas de la electrodiálisis para tratar efluentes que contienen metales, la complejidad de los efluentes industriales puede ser muy diversa, por lo que el control de la electrodiálisis y los sistemas pueden ser complejos e implicar ciertas limitaciones. Entre los retos más relevantes de la electrodiálisis destacamos las siguientes:

El flujo de iones a través de las membranas de intercambio iónico no es ilimitado debido al transporte de iones facilitado que ocurre a través de las membranas, la concentración desarrolla gradientes cerca de las interfaces membrana/solución cuando cierta densidad de corriente conocida alcanza un corriente límite (i_{lim}), la concentración de iones cerca de la superficie de agotamiento de la membrana cae prácticamente a cero y el suministro de iones a la membrana queda limitado por la difusión.

El consumo de energía de los sistemas de electrodiálisis varía durante el proceso tratamiento. Esto es causado por el agotamiento gradual de los iones en la dilución en los compartimentos y la disminución concomitante de la conductividad. La disipación de energía en las interfaces membrana/solución representa una parte importante de las pérdidas de energía. Por lo tanto, es importante operar a la corriente óptima densidades que minimizan estas pérdidas energéticas. Otros enfoques como el diseño de pilas de electrodiálisis con condiciones hidrodinámicas mejoradas también son beneficiosa para disminuir las pérdidas de energía.

Las membranas de intercambio iónico no son completamente semipermeables y algunas fugas de iones de electrolito de la misma carga que la membrana puede ocurrir, especialmente en altas concentraciones de electrolitos. Esto puede reducir significativamente la calidad de los productos recuperados.

Podría producirse un ensuciamiento de la membrana y disminuir el rendimiento del proceso de electrodiálisis. En el caso de soluciones que contengan metales pesados, la formación de precipitados puede ser muy problemático ya que puede bloquear completamente el transporte ion a través de las membranas y aumentar el consumo de energía. En este sentido, es importante determinar las mejores condiciones de operación para evitar el ensuciamiento de la membrana. La selección de corrientes de sublimitación o el uso de modos específicos de operación, como inversión de electrodiálisis o pulsos eléctricos de corrientes, podría contribuir a evitar estos problemas.

Las aguas residuales que contienen metales pueden estar compuestas por mezclas de varios iones. Por lo tanto, el transporte competitivo de iones con la misma carga a través de las membranas podría disminuir la pureza y el valor añadido de las soluciones recuperadas para evitar tales problemas, condiciones de operación que favorezcan el transporte de iones específicos podrían ser aplicados. Además, el desarrollo de membranas con la selectividad para ciertos iones (es decir, membranas selectivas de iones monovalentes) puede implicar un avance significativo en este sentido.

Los efluentes industriales suelen caracterizarse por tener valores extremos de pH y altas fuerzas oxidantes. Estas condiciones implican el requisito de membranas con mayor estabilidad química Nafion es una referencia para tales aplicaciones, sin embargo, son costosas y hasta ahora no han encontrado membranas alternativas competitivas.

2.2.5. NORMATIVA DEL REGLAMENTO SOBRE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO DE PERSONAS

El objetivo de esta normativa es generar las disposiciones generales para dar a conocer la gestión sobre el empleo y uso de la calidad del agua para la bebida humana, representado en los diferentes parámetros establecidos, su finalidad es prevenir una serie de factores de riesgo sanitario y dar seguridad sobre el bienestar poblacional, en la tabla 1 se muestra los límites máximos permisibles de los parámetros de calidad organoléptica y químicos inorgánicos como el plomo (Dirección General de Salud Ambiental, 2010).

Tabla 1

Límites máximos permisibles de calidad organoléptica e inorgánica de calidad de agua para consumo humano

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Olor	(---)	Aceptable
Sabor	(---)	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad	$\mu\text{mho/cm}$	1500
Sólidos totales disueltas	mg/L	1000
Cloruros	mg Cl/L	250
Sulfatos	mg SO ₄ /L	250
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	500
Amoniaco	mg N/L	1.5
Hierro	mg Fe/L	0.3
Manganeso	mg Mn/L	0.4
Aluminio	mg Al/L	0.2
Cobre	mg Cu/L	2
Zinc	mg Zn/L	3
Sodio	mg Na/L	200
Antimonio	mg Sb/L	0.02
Arsénico	mg As/L	0.01
Bario	mg Ba/L	0.7
Boro	mg B/L	1.5
Cadmio	mg Cd/L	0.003
Cianuro	mg CN/L	0.07
Cloro	mg/L	5
Clorito	mg/L	0.7
Clorato	mg/L	0.7
Cromo total	mg Cr/L	0.05
Flúor	mg F/L	1
Mercurio	mg Hg/L	0.001
Níquel	mg Ni/L	0.02
Nitratos	mg NO ₃ /L	50
Nitritos	mg NO ₂ /L	3.0 Exposición corta/0.2 Exposición larga
Plomo	mg Pb/L	0.01
Selenio	mg Se/L	0.01
Molibdeno	mg Mo/L	0.07
Uranio	mg U/L	0.015

Nota. Valores establecidos en el reglamento de calidad del agua para consumo humano

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Plomo: El plomo es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación del medio ambiente (OMS, 2014).

Metales pesados: Los metales pesados tienen una densidad mayor a los 6 g/cm³, se consideran los más tóxicos y son muy susceptibles a la contaminación. La aparición de estos metales se debe a la problemática de bioacumulación y biomagnificación (Domènech et al., 2014).

Contaminación de aguas: Acción de ejercer un desequilibrio en el agua, mediante la introducción de materia o cualquier energía exterior por mecanismos directos e indirectos alterando su sistema, reflejado en la calidad del agua (Ray et al., 2020).

Potencial eléctrico: El trabajo que debe realizar un campo electrostático para mover una carga positiva desde dicho punto hasta el punto de referencia, dividido por unidad de carga de prueba. Dicho de otra forma, es el trabajo que debe realizar una fuerza externa para traer una carga positiva unitaria desde el punto de referencia hasta el punto considerado en contra de la fuerza eléctrica a velocidades constantes (Andrez et al., 1992).

Electrodialisis: La electrodialisis (ED) es una tecnología impulsada por la electricidad en la que las membranas de intercambio iónico (aniónicas y catiónicas) se disponen alternativamente en un campo de corriente continua (CC), donde los iones de sal se transfieren a través de membranas de intercambio iónico desde el diluido al concentrado lado de la solución bajo la influencia de un potencial eléctrico (Jiang et al., 2018).

Membranas de intercambio iónicas: Las membranas de intercambio iónico consisten en geles muy hinchados que llevan cargas fijas positivas o negativas. Las propiedades y los procedimientos de preparación de las membranas de intercambio iónico están estrechamente relacionados con los de las resinas de intercambio iónico. Existen muchos tipos posibles con diferentes matrices poliméricas y diferentes grupos funcionales para conferir propiedades de intercambio iónico al producto (Ochoa , 1996).

Electrodos: Un electrodo es un conductor eléctrico sólido que transporta corriente eléctrica a sólidos, líquidos, gases, plasmas o vacíos no metálicos. Los electrodos suelen ser buenos conductores eléctricos, pero no es necesario que sean metales (Bazán, 2017).

Corriente límite: La densidad corriente límite (DCLim) es la densidad de corriente eléctrica máxima (corriente por el área de la membrana) que se puede utilizar en el proceso de la electrodiálisis, fuera de ello causa efectos negativos como, aumento de la resistencia eléctrica, baja eficiencia eléctrica y disociación del agua (Ochoa , 1996).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

- Ha: El proceso de electrodiálisis es eficiente en la eliminación de plomo en las aguas del Río Torres, Distrito Huallanca, Provincia Bolognesi, Ancash.
- H0: El proceso de electrodiálisis no es eficiente en la eliminación de plomo en las aguas del río Torres, Distrito Huallanca, provincia Bolognesi, Ancash.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Ha: Al definir el parámetro químico de plomo en las aguas del río Torres, los valores obtenidos en los cinco puntos superan los estándares de calidad de agua para consumo humano.

H0: Al definir el parámetro químico de plomo en las aguas del río Torres, los valores obtenidos en los cinco puntos no superan los estándares de calidad de agua para consumo humano.

Ha: La concentración del plomo, después de su tratamiento mediante el proceso de electrodiálisis están dentro de los límites permisibles del Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

H0: La concentración del plomo, después de su tratamiento mediante el

proceso de electrodiálisis están dentro de los límites permisibles del Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLES DEPENDIENTES

Concentración de plomo en las aguas del río Torres

2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Proceso de electrodiálisis

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

TÍTULO: “EFICIENCIA DEL PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS EN LA ELIMINACIÓN DE PLOMO EN AGUAS DEL RÍO TORRES, DISTRITO HUALLANCA, PROVINCIA BOLOGNESI, ANCASH”

Tabla 2

Tabla de Operacionalización de Variables

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Concentración de plomo en aguas del río Torres, Distrito Huallanca	El plomo es un elemento químico Pb, con Z = 82, es un metal más denso que otros ((CSEM), 2017)	El plomo se utiliza para diversos fines como las aleaciones, química, Materiales, etc. (Kumar, et al., 2020)	Contenido de plomo antes y después de su tratamiento	Plomo	mg/L	Numérica continua
Proceso de electrodiálisis	La electrodiálisis es un proceso electrolítico impulsado por corriente, que tiene membranas y electrodos en la cual se separan los aniones y cationes de acuerdo a su carga (Jiang, et al., 2018)	El proceso de electrodiálisis se utiliza para separar aniones y cationes de soluciones ya sea diluidas y concentradas, tiene diversos usos, para la potabilización, desalinización, revalorización, etc. (Kum, Lawler, & Katz, 2020)	Parámetros operativos de funcionamiento	Reduce los iones y cationes, aumenta los iones y cationes	SI/NO	Nominal dicotómica
			Proceso de construcción			Nominal dicotómica

Nota. Variables dependientes e independientes del trabajo de investigación “EFICIENCIA DEL PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS EN LA ELIMINACIÓN DE PLOMO EN AGUAS DEL RÍO TORRES, DISTRITO HUALLANCA, PROVINCIA BOLOGNESI, ANCASH”.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En la opinión de (Supo, 2014), el tipo de la investigación se clasifica según los cuatro criterios evaluativos:

Criterio 1: según la planificación de las mediciones de la variable de estudio, según este criterio es prospectivo ya que se recolectó datos de la muestra, como la conductividad en el agua y plomo.

Criterio 2: según el número de mediciones de la variable de estudio, es longitudinal debido a que se realizó más de una medición de la variable de estudio.

Criterio 3: según el número de variables analíticas, es un estudio analítico debido a que consta de más de una variable analítica, las cuales son el proceso de electrodiálisis y plomo en aguas superficiales.

Criterio 4: según la intervención del investigador, el presente estudio es con intervención ya que se realizó un estudio experimental donde se modificaron los resultados en las unidades de variable.

3.1.1. ENFOQUE

Desde la posición de (Supo, 2014), un estudio tiene un enfoque cuantitativo porque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico.

El presente estudio es de enfoque cuantitativo ya que se recolectó datos para probar la hipótesis, de acuerdo a las mediciones realizadas y los resultados estadísticos, se comprobaron el tratamiento del agua del río Torres mediante la electrodiálisis.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

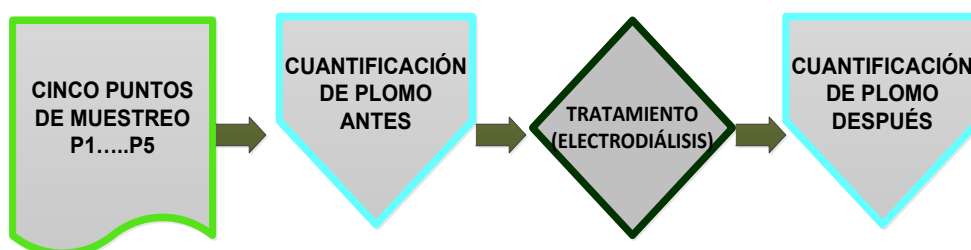
El estudio pertenece al nivel aplicativo ya que la misma busca proponer una solución para mejorar la concentración de plomo en aguas

del río Torres mediante la aplicación del proceso de electrodiálisis, buscando mejorar la situación inicial después de su aplicación.

3.1.3. DISEÑO

El presente estudio siguió un diseño de experimento verdadero, debido a que se trabajó con varios grupos de estudio y después se intervino con la técnica de tratamiento en función de la reducción de la unidad en estudio, se determinó la concentración de plomo antes de la intervención y otra después de la intervención mediante el proceso electroquímico de electrodiálisis (Supo, 2014).

Tabla 3
Diseño de investigación



Nota. El diseño de la investigación consta de tres etapas

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Se considera a las aguas del río Torres del Distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi, Departamento de Ancash. Desde el nacimiento hasta la formación del río Vizcarra. Las coordenadas geográficas con respecto al meridiano de Greenwich del río Torres, Distrito de Huallanca es:

Lugar	Longitud Oeste	Latitud Sur
Huallanca	76° 56' 29.976"	9° 53' 57.552"

3.2.2. MUESTRA

La muestra está representada por la recolección de los cinco puntos de monitoreo, las cuales se utilizaron sólo 2 litros por corrida experimental, en este caso 1 litro para la solución diluida y 1 para la solución concentrada. Para la confiabilidad de los datos se hizo 2 réplicas adicionales, en total por punto de monitoreo se utilizó 6 litros. El muestreo considerado es no probabilístico debido a que los puntos de muestreo han sido seleccionados de acuerdo a la accesibilidad y criterio del investigador. La ubicación de los puntos de monitoreo se muestra a continuación.

Tabla 4.

Coordenadas de los Puntos de Monitoreo de las Aguas del Río Torres

Puntos de monitoreo	Longitud Oeste	Latitud Sur
Punto 1	77°01'01.0"	9°52'17.1"
Punto 2	76°59'56.4"	9°52'26.8"
Punto 3	76°59'26.8"	9°52'10.7"
Punto 4	76°59'12.7"	9°52'05.1"
Punto 5	76°59'03.9"	9°52'09.9"

Nota. Coordenadas de los puntos de muestreo para su tratamiento del río Torres

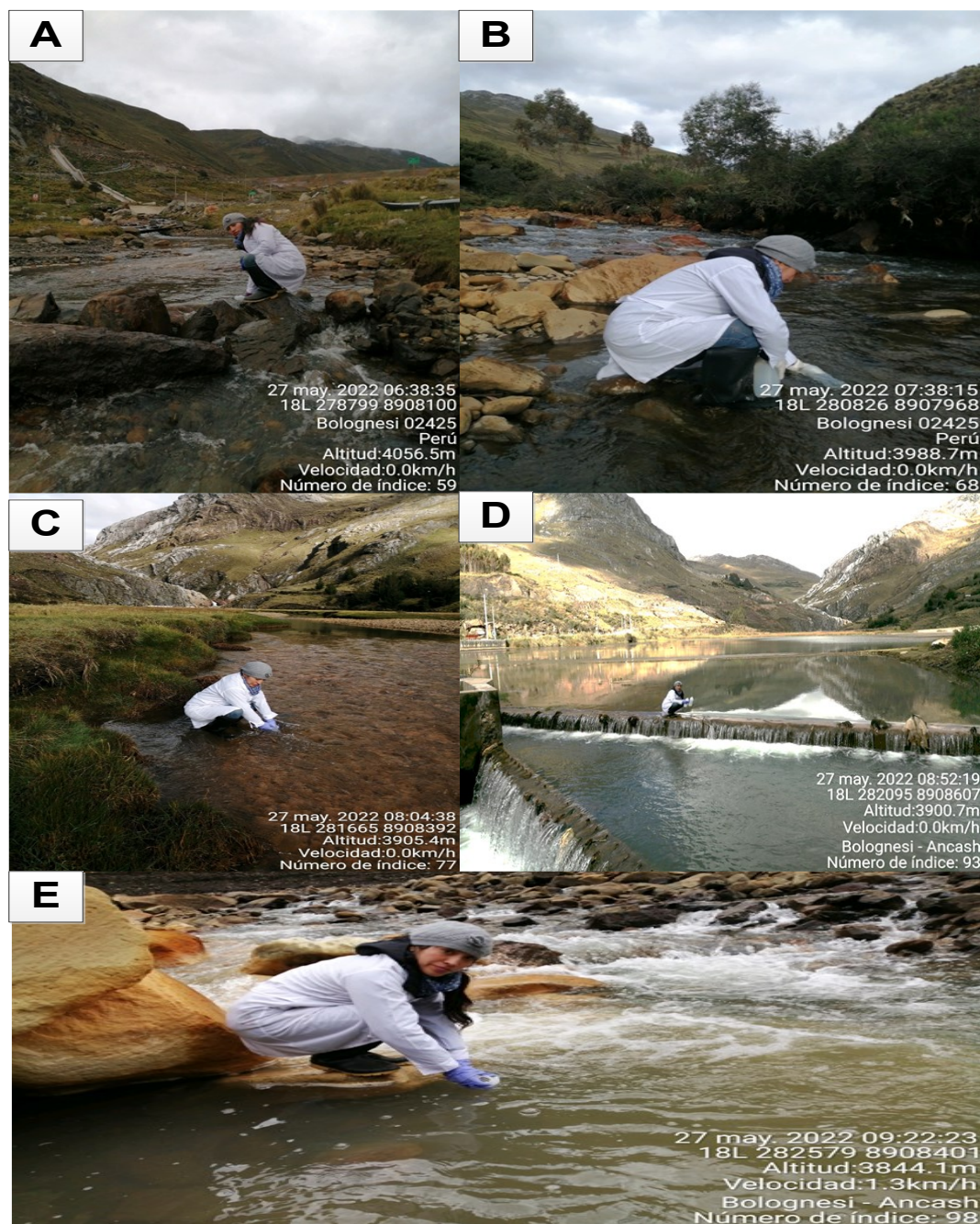
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

a. Recolección de las muestras del río Torres

El proceso de monitoreo de agua del río Torres, se realiza bajo el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales N° 010-2016 (Autoridad Nacional del Agua - ANA, 2016). Las muestras se tomaron de acuerdo a los puntos indicados.

Figura 4
Toma de muestras del río Torres en los cinco puntos



Nota. (A) punto de monitoreo 1, (B) punto de monitoreo 2, (C) punto de monitoreo 3, (D) punto de monitoreo 4 y (E) punto de monitoreo 5.

b. Caracterización de las muestras antes y después del tratamiento

Los métodos empleados para la caracterización de las muestras provenientes del río Torres tanto a la entrada y salida después del tratamiento por el proceso de electrodiálisis se muestran en la tabla 4.

Tabla 5
Métodos para caracterizar el agua del río Torres

Análisis fisicoquímicos	Métodos
Determinación de pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
Determinación de conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method
Determinación de metales: Ag/Al/As/Ba/Be/Bi/Ca/Cd/Co/Cr/ Cu/Fe/Ga/Hg/K/La/Mg/Mn/Mo/Na /Nb/Ni/P/Pb/S/Sb/Sc/Se/Sn/Sr/Te /Ti/Tl/V/W/Y/Zn/Z	Code VH-ME-ICP2 Análisis por ICP-OES Agua Regia

Nota. La lista de los parametros de análisis de muestra del trabajo de investigación.

c. Tratamiento previo a la muestra

Las muestras recogidas del río Torres antes de ser sometidas con el tratamiento electroquímico se filtraron con papel Watman número 40, con la finalidad de separar las partículas suspendidas y así evitar el ensuciamiento de las membranas iónicas (catiónica y aniónica), en la figura 6 se muestra las operaciones de filtración.

Figura 5
Filtrado de las muestras



Nota. Las muestras de los cinco puntos se filtraron antes de su tratamiento, para evitar el ensuciamiento de las membranas.

d. Proceso de electrodiálisis

Antes de empezar con las pruebas experimentales, primero se construyó el módulo, una vez terminado, se procedió a evaluar la parte hidráulica y eléctrica, terminado eso recién se empezó a realizar la parte experimental central.

La primera operación que se hizo fue determinar la corriente límite, y en base a ello se seleccionó el potencial aplicado para el tratamiento, otro parámetro a tenerse en cuenta fue el tiempo de operación, para este caso se tomó una hora y media, este valor es tomado como referencia a otros investigadores y por la capacidad del módulo experimental, por otra parte la distancia entre los electrodos fue de 2.5 cm, se emplearon dos aniones y una membrana catiónica, para cada experimento se usó 2 litros como muestra, un litro para la solución concentrada y un litro para la solución diluida, además se preparó una solución de nitrato de sodio de 0.5 M para el lavado de los electrodos, como electrodo se utilizó dos mallas de titanio de 80*70*1mm.

La muestra ya filtrada de 1 litro se pone al depósito de solución concentrada y 1 litro de muestra al depósito de solución diluida y 1 litro de solución de nitrato de sodio de 0.5 M al depósito de solución de lavado de electrodos, una vez colocadas las soluciones se prende las tres bombas hidráulicas para su recirculación y que pase por la celda de electrodiálisis, después se prende el rectificador de corriente a un voltaje de 15 voltios conectados a los electrodos (ánodos y cátodos), desde que empezó a funcionar se determinó con un multiparámetro la variación de la conductividad tanto en la solución diluida y concentrada y la intensidad de corriente por un periodo de 1 hora y media, al finalizar las corridas se acondicionaron las muestras tanto de entrada y salida de las dos soluciones y fueron enviadas a un laboratorio certificado (ACTLABS SKYLINE PERU SAC).

Figura 6
Operación del equipo de electrodiálisis



Nota. Tratamiento del agua con el proceso de electrodiálisis.

e. Instrumentos

Entre muchos de los instrumentos y materiales utilizados para la investigación se muestran en la tabla 5.

Tabla 6
Materiales, reactivos y equipos utilizados en el desarrollo de la investigación

Reactivos	Cloruro de sodio Nitrato de plomo Agua destilada Soluciones estándares para calibrar los equipos
Equipos	Cronómetro Equipo multiparámetro de marca Hanna Balanza analítica 3 bombas de presión Rectificador de corriente marca UNI-T UTP3305
Materiales	Estructura de melanina para el módulo Materiales de acrílico para el reactor y el depósito Titanio tipo malla rectangular para electrodos Papel filtro AP40 Millipore equivalente a 934 ha Whatman Bureta 250 ml Embudo Vasos de vidrio 500 ml vasos descartables Accesorios de conexión para la conexión (tubos, etc.)

Nota. Tabla de la lista de materiales, reactivos y equipos utilizados en la investigación

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Se emplearán una serie de tablas y gráficas generadas del análisis estadístico optando las herramientas de la redacción científica para la interpretación de los resultados, los mismos que serán útiles para la discusión y conclusiones del estudio.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Para el procesamiento y análisis de la información se usó el software estadístico Minitab 18, que fue de utilidad para el análisis de datos obtenidos en la reducción de la concentración de plomo en las aguas del río torres mediante la técnica de electrodiálisis.

Las hipótesis se comprobaron mediante el análisis estadístico de Chi cuadrado y T de Student y luego para ver la eficiencia del módulo, se utilizó la prueba de Kolmogórov – Smirnov mediante ello se pudo ver las diferencias de las medias en cada punto de muestreo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 7

Descriptivos de la concentración de plomo antes y después del tratamiento con electrodiálisis

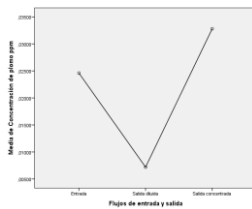
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
Pb_pre	15	0.0246000	0.00974533	0.00251623	0.0192032	0.0299968
Soluc. Diluida	15	0.0072000	0.00126491	0.00032660	0.0064995	0.0079005
Pb_pos Soluc. Conc.	15	0.0328000	0.01029008	0.00265689	0.0271015	0.0384985
Total	45	0.0215333	0.01345126	0.00200520	0.0174921	0.0255745

Nota. La evaluación estadística del parámetro de Pb.

En la tabla 6, observamos que después de su tratamiento en la corriente diluida hay una disminución de la concentración de plomo, en cambio en la corriente concentrada existe un aumento de plomo. Por otra parte, el valor del error estándar ha disminuido después de su tratamiento en la corriente diluida, eso nos hace entender que los datos son más homogéneos después de su tratamiento.

Figura 7

Comparación de las medias del pre y pos tratamiento



Nota. Grafica de los flujos de entrada y salida de la concentración de plomo

En la figura 8 observamos las medias de los tres flujos, donde la media después del tratamiento en el flujo diluido se encuentra por debajo de los valores permitidos de concentración de plomo, por lo tanto, cumple con la calidad de agua para consumo humano.

Tabla 8

Descriptivos en los cinco puntos de monitoreo del río Torres antes de su tratamiento

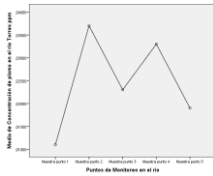
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
Muestra punto 1	3	0.0110000	0.00000000	0.00000000	0.0110000	0.0110000
Muestra punto 2	3	0.0370000	0.00000000	0.00000000	0.0370000	0.0370000
Muestra punto 3	3	0.0230000	0.00000000	0.00000000	0.0230000	0.0230000
Muestra punto 4	3	0.0330000	0.00000000	0.00000000	0.0330000	0.0330000
Muestra punto 5	3	0.0190000	0.00000000	0.00000000	0.0190000	0.0190000
Total	15	0.0246000	0.00974533	0.00251623	0.0192032	0.0299968

Nota. La evaluación estadística de las muestras monitoreadas

Según la tabla 7, las medias de los cinco puntos de monitoreo antes de su tratamiento están por encima de los LMP sobre calidad de agua para consumo humano.

Figura 8

Comparación de las medias en los cinco puntos de monitoreo antes de su tratamiento



Nota. Grafica de la comparación de las medias de los 5 puntos de las muestras de plomo antes del tratamiento

En la figura 9, el punto 1 de monitoreo tiene una media inferior a los demás puntos, en cambio el punto 2 tiene una media de concentración de plomo muy superior a las demás medias.

Tabla 9

Descriptivos de los cinco puntos de monitoreo en la solución diluida después del tratamiento

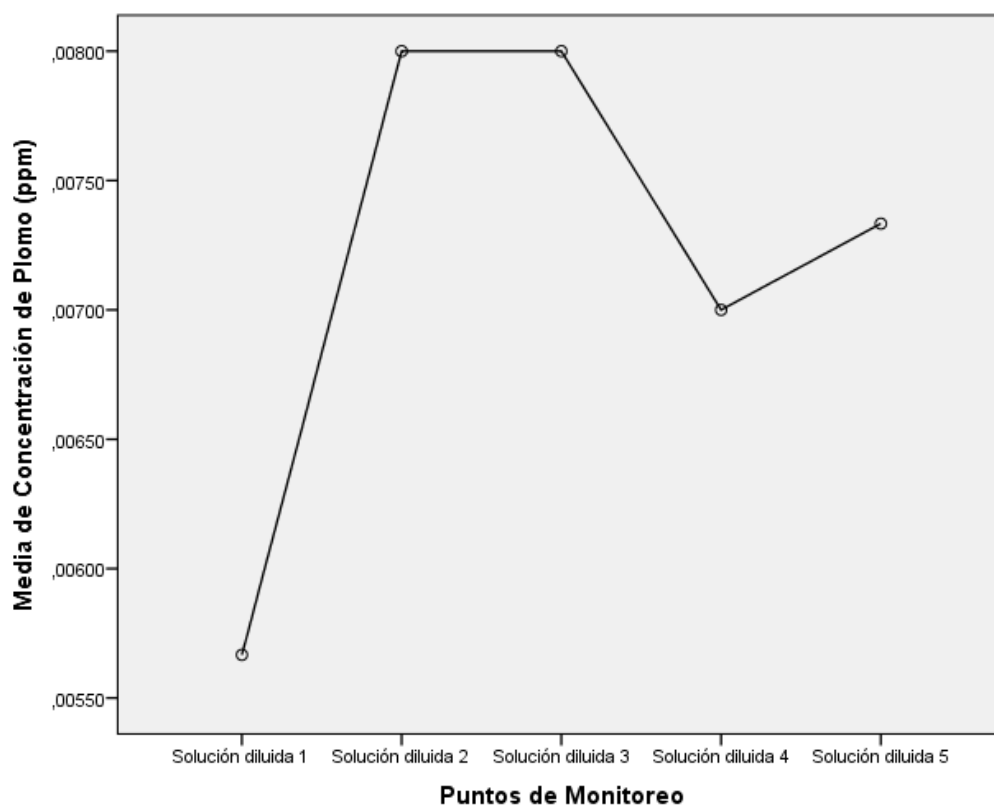
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
Solución diluida 1	3	0.0056667	0.00057735	0.00033333	0.0042324	0.0071009
Solución diluida 2	3	0.0080000	0.00100000	0.00057735	0.0055159	0.0104841
Solución diluida 3	3	0.0080000	0.00100000	0.00057735	0.0055159	0.0104841
Solución diluida 4	3	0.0070000	0.00100000	0.00057735	0.0045159	0.0094841
Solución diluida 5	3	0.0073333	0.00152753	0.00088192	0.0035388	0.0111279
Total	15	0.0072000	0.00126491	0.00032660	0.0064995	0.0079005

Nota. Tratamiento del agua con el proceso diluido después del tratamiento

Las medias de los cinco puntos después de su tratamiento, todas están por debajo de los LMP, sobre la calidad de agua para consumo humano.

Figura 9

Comparación de las medias en los cinco puntos de monitoreo después de su tratamiento en la corriente diluida



Nota. Gráfica de los puntos de monitoreo con la media de concentración de plomo después del tratamiento para muestras diluidas.

En la figura 10, la media de la corriente diluida de los cinco puntos de monitoreo después de su tratamiento está dentro del rango permisible, la concentración más baja de plomo se llegó en el punto de monitoreo 1, en cambio la concentración más alta de media en plomo se llegó en el punto 2.

Tabla 10

Descriptivos de los cinco puntos de monitoreo en la solución concentrada después del tratamiento

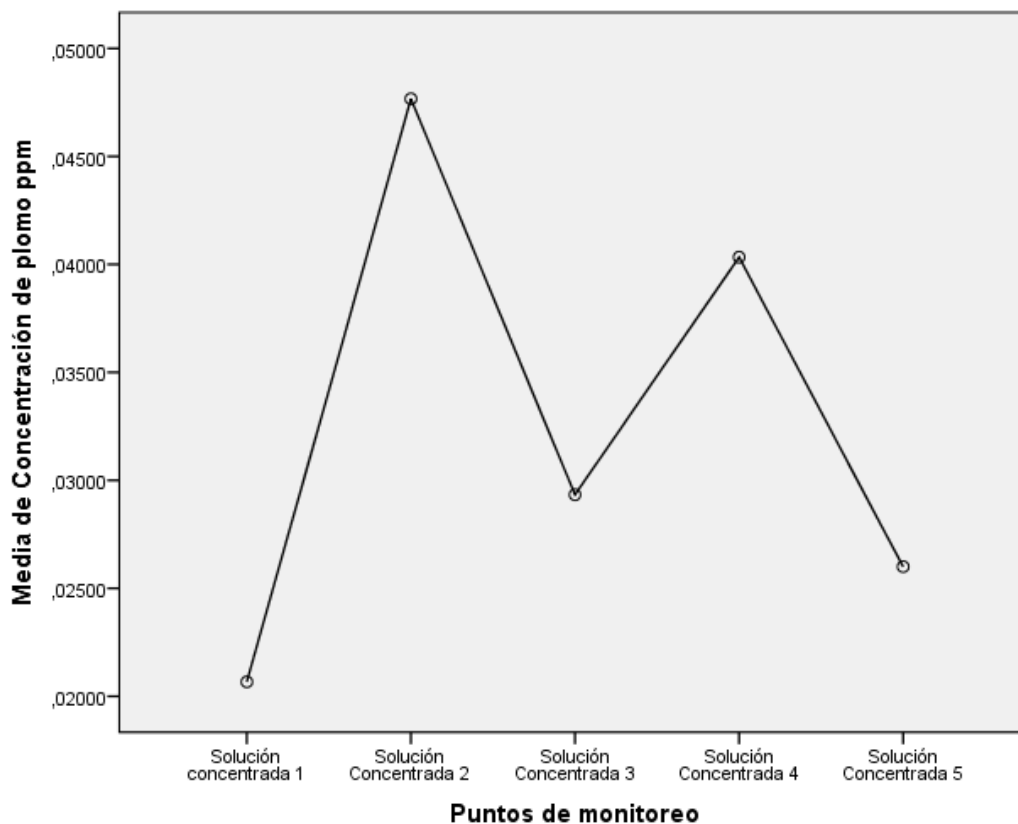
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
Solución concentrada 1	3	0.0206667	0.00152753	0.00088192	0.0168721	0.0244612
Solución Concentrada 2	3	0.0476667	0.00152753	0.00088192	0.0438721	0.0514612
Solución Concentrada 3	3	0.0293333	0.00152753	0.00088192	0.0255388	0.0331279
Solución Concentrada 4	3	0.0403333	0.00152753	0.00088192	0.0365388	0.0441279
Solución Concentrada 5	3	0.0260000	0.00264575	0.00152753	0.0194276	0.0325724
Total	15	0.0328000	0.01029008	0.00265689	0.0271015	0.0384985

Nota. La descripción de los puntos de monitoreo después del tratamiento.

En la tabla 9, las corrientes de concentrado después de su tratamiento, para todos los puntos de monitoreo sus medias están por encima de lo permitido, para todas las corrientes concentradas se incrementó la concentración de plomo.

Figura 10

Comparación de las medias en los cinco puntos de monitoreo después de su tratamiento en la corriente concentrada



Nota. Gráfica de la comparación de la media de los 5 puntos de monitoreo después del tratamiento

La figura 11, muestra la media de la concentración de plomo de los cinco puntos de monitoreo después del tratamiento en la corriente concentrada, la concentración media de plomo más baja se obtuvo en la corriente 1, mientras la más alta se aprecia en el punto 2 de monitoreo.

Tabla 11*Prueba de normalidad para los flujos de entrada y salida del proceso*

	Flujos de entrada y salida	Pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de plomo ppm	Entrada	0.206	15	0.088	0.881	15	0.049
	Salida diluida	0.163	15	0,200*	0.918	15	0.179
	Salida concentrada	0.177	15	0,200*	0.915	15	0.162

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. La prueba de normalidad de la concentración del plomo

En la tabla 10, con un nivel de significancia del 5%, los datos analizados mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov presentan una normalidad en los tres flujos (pre test y post test), sobrepasando los valores de niveles de significancia, con ello nos da el paso para hacer la prueba paramétrica y contrastar la hipótesis general.

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Para poder contrastar la hipótesis planteada sobre la eficiencia del proceso de electrodiálisis en la reducción de la concentración de plomo en las aguas del río Torres, se siguió el procedimiento estadístico de test de ANOVA y la prueba de t de Student.

En base a la hipótesis planteada de:

Ha: “El proceso de electrodiálisis es eficiente en la eliminación de plomo en las aguas del río Torres, Distrito Huallanca, provincia Bolognesi, Ancash”.

Tabla 12
Análisis de varianza de un solo factor

Concentración de plomo ppm (ANOVA)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.005	2	0.003	37.984	0.000
Dentro de grupos	0.003	42	0.000		
Total	0.008	44			

Nota. Cuadro del análisis de varianza de la concentración de plomo

Según la tabla 11, el valor de $p = 0.00$ es significativo porque está por debajo del nivel convencional de significancia ($p < 0.05$), llegando a la conclusión de que existen diferencias significativas de las medias de concentración entre las corrientes que ingresan y salen al proceso de tratamiento (electrodialisis). Para conocer entré que flujos hay una diferencia de concentraciones de las medias se realizó las comparaciones múltiples.

Tabla 13
Análisis de las comparaciones múltiples

Variable dependiente: Concentración de plomo (ppm) HSD Tukey						
(I) Flujos de entrada y salida	(J) Flujos de entrada y salida	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Entrada	Salida diluida	0.01740000*	0.00299968	0.000	0.0101123	0.0246877
	Salida concentrada	-,00820000*	0.00299968	0.024	-0.0154877	-0.0009123
Salida diluida	Entrada	-,01740000*	0.00299968	0.000	-0.0246877	-0.0101123
	Salida concentrada	-,02560000*	0.00299968	0.000	-0.0328877	-0.0183123
Salida concentrada	Entrada	,00820000*	0.00299968	0.024	0.0009123	0.0154877
	Salida diluida	,02560000*	0.00299968	0.000	0.0183123	0.0328877

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Nota. Evaluación de análisis de la comparación de los flujos de entrada y salida.

En la tabla 12, se muestra que existen diferencias significativas para las tres corrientes independientes, es decir hay diferencias entre la concentración de entrada frente a la corriente de salida de solución diluida y concentrada.

Tabla 14
Análisis de subconjuntos homogéneos

HSD Tukey ^a				
Subconjunto para alfa = 0.05				
Flujos de entrada y salida	N	1	2	3
Salida diluida	15	0.0072000		
Entrada	15		0.0246000	
Salida concentrada	15			0.0328000
Sig.		1.000	1.000	1.000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

Nota. La evaluación de análisis de los flujos de entrada y salida de un subconjunto homogéneo

En la tabla 13, nos hace ver las diferencias de las concentraciones de plomo entre los flujos, el flujo de menor concentración es la corriente diluida, seguido de la corriente antes de su tratamiento, antes de su tratamiento y por último la corriente de mayor concentración es la solución concentrada después de su tratamiento.

Tabla 15*Prueba de t de Student para muestra después del tratamiento*

		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Concentración de plomo después de su tratamiento en la corriente diluida - Concentración de plomo antes de su tratamiento (ppm)	-0.01740000	0.00921799	0.00238008	-0.02250476	-0.01229524	-7.311	14	0.000
Par 2	Concentración de plomo después de su tratamiento en la corriente concentrada - Concentración de plomo antes de su tratamiento	0.00820000	0.00230527	0.00059522	0.00692338	0.00947662	13.776	14	0.000

Nota. La evaluación estadística de la prueba de student de las muestras de tratamiento.

En la tabla 14 observamos que el valor de sigma es 0.00 para ambas corrientes, lo que significa que la diferencia entre la entrada y salida de ambos flujos es diferente de cero, eso quiere decir que con el tratamiento de la electrodiálisis se logró reducir la concentración de plomo con un nivel de confianza de 95% de 0.0246 entre los límites máximos y mínimos (0.019203 y 0.0299968) a 0.0072 entre los límites máximos y mínimos (0.0064995 y 0.0079005) para la corriente diluida, en cambio en la otra corriente se logró aumentar la concentración de plomo, por lo tanto en la corriente diluida se llegó obtener agua con concentración de plomo que cumple con la normativa de la calidad de agua para consumo humano, logrando una eficiencia del 70.73%, en cambio en la corriente concentrada se obtuvo una alta concentración que sobrepasa las normativa de la concentración de plomo, aumentando el plomo en 33.33% con respecto a la muestra antes de su tratamiento. Con esto hemos contrastado la hipótesis general sobre la eficiencia del tratamiento.

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Con la primera hipótesis específica planteado:

Ha: “Al definir el parámetro químico de plomo en las aguas del río Torres, los valores obtenidos en los cinco puntos superan los estándares de calidad de agua para consumo humano”.

Tabla 16*Caracterización de la concentración de plomo antes de su tratamiento*

Símbolo de Analito	R1	R2	R3
	Pb	Pb	Pb
Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
Símbolo de Unidad	ppm	ppm	ppm
PM1: ENTRADA-CHUSPIC	0.011	0.011	0.011
PM1: SALIDA DILUIDA	0.006	0.005	0.006
PM1: SALIDA CONCENTRADA	0.021	0.022	0.019
PM2: ENTRADA-CURVA	0.037	0.037	0.037
PM2: SALIDA DILUIDA	0.007	0.008	0.009
PM2: SALIDA CONCENTRADA	0.048	0.046	0.049
PM3: ENTRADA LAG. CONTAYCOCHA	0.023	0.023	0.023
PM3: SALIDA DILUIDA	0.009	0.007	0.008
PM3: SALIDA CONCENTRADA	0.031	0.028	0.029
PM4: ENTRADA - SAL. LAG. CONTAYCOCHA	0.033	0.033	0.033
PM4: SALIDA DILUIDA	0.008	0.006	0.007
PM4: SALIDA CONCENTRADA	0.039	0.042	0.040
PM5: ENTRADA - EXTRAC. CARBON	0.019	0.019	0.019
PM5: SALIDA - DILUIDA	0.007	0.006	0.009
PM5: SALIDA CONCENTRADA	0.024	0.029	0.025

Nota. Datos del informe de ensayo de caracterización realizados en: ACTLABS SKYLINE PERU SAC, en las aguas del río Torres.

Según la tabla 15, observamos que al ser caracterizado las aguas del río Torres, la concentración de plomo en los cinco puntos de recojo (Entrada-Chuspich, Entrada-Curva, Entrada lag.-Contaycocha, Entrada-salida lag. Contaycocha y Entrada extracción-carbón) están por encima de los LMP sobre la calidad del agua para su consumo humano. Con lo cual se contrastó la primera hipótesis específica.

Con la segunda hipótesis planteada:

Ha: “La concentración del plomo, después de su tratamiento mediante el proceso de electrodiálisis están dentro de los límites permisibles del Reglamento de la calidad del agua para consumo humano”.

Tabla 17*Caracterización de plomo a la salida del tratamiento*

Puntos de monitoreo	Promedio de concentración de plomo en la solución diluida en los cinco puntos (ppm)	Interpretación
PM1: SALIDA DILUIDA	0.005666667	La concentración de plomo se encuentra dentro de los LMP para consumo humano
PM2: SALIDA DILUIDA	0.008	La concentración de plomo se encuentra dentro de los LMP para consumo humano
PM3: SALIDA DILUIDA	0.008	La concentración de plomo se encuentra dentro de los LMP para consumo humano
PM4: SALIDA DILUIDA	0.007	La concentración de plomo se encuentra dentro de los LMP para consumo humano
PM5: SALIDA - DILUIDA	0.007333333	La concentración de plomo se encuentra dentro de los LMP para consumo humano

En general las concentraciones están dentro del límite permisible para consumo humano

Nota. La caracterización de los puntos de salida de la concentración de plomo.

Al analizar la tabla 16, la concentración de plomo después de su tratamiento en la corriente diluida se encuentra por debajo los LMP con lo cual si cumple con la calidad del agua para su consumo humano. Con esto se logró contrastar la segunda hipótesis específica.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como lo hacen notar Gherasim et al (2014), en su trabajo de investigación que realizaron “Investigación del proceso de electrodiálisis por lotes para la eliminación de iones de plomo en solución acuosa”, donde llegaron a eliminar el plomo con una eficiencia de 99.8%, llevando la concentración de plomo de 500 ppm a 1 ppm en la solución diluida, para esta investigación utilizaron 11 membranas de intercambio aniónicas y 10 catiónicas, por otra parte el tratamiento lo realizaron durante 2 horas continuas, y lo más importante como muestra problema prepararon una solución modelo con diferentes concentraciones de plomo, al final del proceso lograron reducir el plomo a las condiciones favorables para ser vertida al medio ambiente. Sin embargo en la investigación que realicé sólo se empleó dos membranas aniónicas y una catiónica y se realizó el tratamiento sólo por una hora y media y con muestras real, bajo estas condiciones se logró reducir en 70.73%, logrando obtener agua con la calidad exigida según el reglamento estándar de consumo humano, cabe aclarar, que hacer un tratamiento sobre agua real a diferencia de agua modelo creado en laboratorio, implica que la eficiencia del tratamiento disminuye porque el agua real no sólo tiene iones de plomo, sino una serie de especies iónicas, por lo tanto, los demás iones presentes en el agua afectan el proceso, esto se aprecia en el informe de ensayo del laboratorio, sobre la caracterización de metales pesados, observándose la eficiencia del proceso de electrodiálisis para otros metales pesados, llevando de una concentración alta a una concentración baja entre ellos (Al, As, Ca, Hg, etc.).

De acuerdo con los investigadores Mohammadi et al (2004), en su publicación de “Efecto de los parámetros de operación en la separación de Pb^{2+} de aguas residuales mediante electrodiálisis”, lograron separar el plomo con una eficiencia de 76% a 97% para las concentraciones iniciales de plomo (100 ppm a 1000 ppm). Emplearon como muestra una solución preparada a

nivel laboratorio ($\text{PbNO}_3)_2$ y $(\text{NaNO}_3)_2$, también utilizaron sólo dos membranas una catiónica y una aniónica y los electrodos tanto para ánodo y cátodo (titanio), en esta investigación no indica el tiempo de tratamiento, sin embargo haciendo una comparación con el trabajo que realicé la eficiencia no está muy alejado, para todas las corridas experimentales se trabajo con un flujo de alimentación en 1 LPM, esas diferencias en las eficiencias se deben principalmente a la optimización de los factores que más influyen en el proceso, uno de ellos es el flujo de alimentación, tal como se comprobó en el trabajo que realizaron los investigadores de Mohammadi, con una contribución mayor a 71.01% sobre la reducción de la concentración de plomo.

Como afirman los investigadores Min et al (2021), en su trabajo publicado de “Características de la separación de metales pesados y determinación de la densidad de corriente limitante en un proceso de electrodiálisis a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales en placas”, lograron reducir en los primeros 10 ciclos con una eficiencia mayor a 90% para los metales de cobre y níquel, utilizando 15 pares de membranas iónicas, tiempo de operación 120 minutos, trabajadas sobre aguas residuales provenientes de una planta de tratamiento de enchapado en Corea. Por otra parte, en la investigación que realicé, como se trabajó con una muestra real, al caracterizar se encontraron restos de níquel menos de cobre, frente a ello se logró reducir en 55.26% como máximo para níquel, para cadmio se llegó a 75%, para el hierro alcanzó en 58.82%, para el Zn en 27.37%, etc.

Según Abou-Shady et al (2012), en su publicación de “Efecto del pH en la separación de Pb (II) y NO_3^- de soluciones acuosas mediante electrodiálisis”, llegaron reducir el plomo con la eficiencia de 93%, para ello emplearon una celda de electrodiálisis con tres electrodos formados en dos bloques, utilizaron 55 pares de membranas iónicas. Si este valor lo comparamos con la eficiencia que obtuvimos, está por encima, pero esta diferencia en la eficiencia debe estar relacionado a la cantidad de membranas utilizadas a comparación del experimento que hicimos.

CONCLUSIONES

En base a los propósitos y problemas planteados se concluye los siguientes:

- a. Al calcular la eficiencia de un módulo de electrodiálisis a escala laboratorio sobre la eliminación de concentración de plomo en aguas del río Torres, localizada en el Distrito Huallanca, Provincia Bolognesi, Departamento de Ancash, se encontró una eficiencia de 70.73% para la solución diluida, en cambio para la solución concentrada la eficiencia aumento en 33.33% sobre el plomo. Reduciendo la concentración de 0.0246 ppm a 0.0072 ppm para la diluida, en cambio para la solución concentrada llevando de 0.0246 ppm a 0.0328 ppm. Por otra parte, la conductividad se redujo de 0.89 mS/cm a 0.27 mS/cm para la solución diluida y un aumento para la solución concentrada de 0.89 mS/cm a 1.79 mS/cm, en cambio para la solución de lavado de electrodos hubo una pequeña disminución de 17.60 mS/cm a 16.75 mS/cm, con respecto a la intensidad de corriente se redujo de 0.49 amperios a 0.08 amperios.
- b. Se determinó la concentración de plomo en las aguas del río Torres antes de su tratamiento, presentando las siguientes concentraciones en los cinco puntos de muestreo: PM1 (0.011ppm), PM2 (0.037 ppm), PM3 (0.023 ppm), PM4 (0.033 ppm) y PM5 (0.019 ppm), cuyos valores de plomo sobrepasan los LMP de calidad de agua para consumo humano.
- c. Los valores obtenidos de la concentración de plomo en las aguas del río Torres después de su tratamiento en la solución diluida corresponden a una media de 0.0072 ppm, con lo cual se verifica que el valor obtenido se encuentra dentro de los LMP sobre la calidad de agua para consumo humano.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que cuando se trabaja con muestras líquidas reales, aplicando este tratamiento, primero hacer una caracterización físico químico de la muestra para conocer la composición de aniones y cationes, sólidos suspendidos, etc., en base a ello hacer previos tratamientos que ayuden que el proceso no sea afectado por los niveles que se encuentran por encima de lo recomendado.
- Por cada corrida realizada, una vez terminada, se recomienda lavar el módulo por lo menos tres veces con agua desionizada, para no alterar los resultados.
- Utilizar este módulo experimental para poder realizar otros estudios con referente hacia otros metales pesados.
- Sobre la corriente concentrada que sale del tratamiento, se recomienda reutilizar para varios ciclos, es decir para las otras corridas experimentales, previo a ello hacer un estudio sobre el aumento de la concentración del plomo.
- Tener cuidado con el aumento y disminución de la conductividad de las dos soluciones (diluido y concentrado), la disminución de la conductividad genera un incremento en el aumento del voltaje, que directamente afecta el costo de tratamiento.
- Se recomienda determinar por cada corrida de forma continua, si es necesario cada 5 minutos el avance de la conductividad, intensidad de corriente, STD y pH para tener mejor controlado el tratamiento del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Demayo, A., Taylor, M., Taylor, K., Hodso, P., & Hammond, P. (1982). Toxic effects of lead and lead compounds on human health, aquatic life, wildlife plants, and livestock. *Critical Reviews in Environmental Control*, vol. 12, no. 4, 257–305.
- Han, W., Fu, F., Cheng, F., Tang, B., & Wu, S. (2016). Studies on the optimum conditions using acidwashed zero-valent iron/aluminum mixtures in permeable reactive barriers for the removal of different heavy metal ions from wastewater. *J. Hazard. Mater.* 302, 437–446.
- Hu, R., Sun, K., Su, X., Pan, Y., Zhang, Y., & Wang, X. (2012). Physiological responses and tolerance mechanisms to Pb in two xerophils: *Salsola passerina* Bunge and *Chenopodium album* L. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 205-206, 131-138.
- Kumar, A., Kumar, A., Cabral-Pinto, M., Chaturvedi, A., Shabnam, A., Subrahmanyam, G., . . . Yadav, K. (2020). Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and Sustainable Remediation Approaches. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 2179.
- Lee, J., & Dhar, B. (2012). Bio-processing of solid wastes and secondary resources for metal extraction – A review. *Waste Manag.* 32, 3-18.
- Lesmana, S., Febriana, N., Soetaredjo, F., & Sun, J. (2009). Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater. *Biochem. Eng. J.* 44, 19–41.
- Logan, B., & Rabaey, K. (2012). Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies. *Science*, 337, 686-690.
- Maceda-Veiga, A., Monroy, M., Navarro, E., Viscor, G., & Sostoa, A. (2013). Metal concentrations and pathological responses of wild native fish exposed to sewage discharge in a Mediterranean river. *Science of the*

Total Environment, vol. 449, no. 2, 9-19.

Mohammadi , T., Razmi , A., & Sadrzadeh , M. (2004). Effect of operating parameters on Pb 2+ separation from wastewater using electro dialysis. *Desalination* 167, 379-385.

Pawlowski, S., Crespo, J., & Velizarov, S. (2014). Pressure drop in reverse electro dialysis: Experimental and modeling studies for stacks with variable number of cell pairs. *Journal of Membrane Science*, 462, 96-111.

(OMS), O. M. (2014). Action Is Needed on Chemicals of Major Public Health Concern. *Public Health Environ.*, 1–4. Obtenido de Public Health Environ.

Abou-Shady, A., Peng, C., Almeria, J., & Xu, H. (2012). Effect of pH on separation of Pb (II) and NO₃ using electro dialysis. *Desalination* 285, 46–53.

Andrez, L., Perez, A., Alvarez, R., & Coca, J. (1992). Polarización de Concentración en los Procesos con Membranas: Aplicación a la Electrodiálisis. *Ingeniería Química*, 241 - 245.

Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2016). *Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales* . Lima : Autoridad nacional del agua .

Baker, R. (2004). Membrane technology and applications. *John Wiley & Sons, Ltd., Menlo Park, California*.

Bazán, J. (2017). *Influencia de los parámetros de operación de un módulo de electrodiálisis en la desmineralización de agua de purga de caldero*. Lima: Universidad Nacional del Callao.

Chira, J., & Vargas, L. (2011). *Dispersión relativa de metales pesados en la cuenca alta del río Torres-Vizcarra, departamentos de Ancash y Huánuco*. Lima: Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-

UNMSM.

Domènech, X., Jardim, W., & Litter, M. (2014). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. *ResearchGate*, 237764122.

Femina , C., Senthil , P., Saravanan, A., Joshiba, G., & Naushad, M. (2017). Efficient Techniques for the Removal of Toxic Heavy Metals from Aquatic Environment: A Review. *A Review, Journal of Environmental Chemical*.

Gherasim, C.-V., Krivcík, J., & Mikulášek, P. (2014). Investigation of batch electro dialysis process for removal of lead ions from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal* 256, 324–334.

Jiang, C., Chen, H., Zhang, Y., Feng, H., Shehzad, M., Wang, Y., & Xu, T. (2018). Complexation Electro dialysis as a general method to simultaneously treat wastewaters with metal and organic matter. *Chemical Engineering Journal* 348, 952-959.

Kum, S., Lawler, D., & Katz, L. (2020). Separation characteristics of cations and natural organic matter in electro dialysis. *Separation and Purification Technology* 250, 117070.

Lin, W., Li, Z., & Burns, M. (2017). A drinking water sensor for lead and other heavy metals. *Analytical Chemistry* vol. 89, no. 17, 8748–8756.

Martí, M. (2014). *Study of the transport of heavy metal ions through cation-exchange membranes applied to the treatment of industrial effluents* . Valencia: Universidad politécnica de valencia.

Membrane Technology in the Chemical Industry. (2001). Wiley-VCH.

Min, K., Kim, J., & Park, K. (2021). Characteristics of heavy metal separation and determination of limiting current density in a pilot-scale electro dialysis process for plating wastewater treatment. *Science of the Total Environment* 757, 143762.

Ministerio de Energía y Minas, & Dirección Gneral de Asuntos Ambientales. (1998). *Estudio de evaluación ambiental territorial y de planeamientos para la reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Torres - Vizcarra.*

Ochoa , J. (1996). *Electrosíntesis y electrodiálisis (Fundamentos, aplicaciones tecnológicas y tendencias)*. Madrid, España: Editorial McGraw-Hill.

Ray, S. S., Gusain, R., & Kumar, N. (2020). *Carbon Nanomaterial-Based Adsorbents for Water Purification*. Sudáfrica: Mariana C. Henriques.

Strathmann, H. (2010). Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications. *Desalination*, 264, 268-288.

Supo, J. (2014). *Seminario de la Investigación Científica (2da Edición ed.)*. Arequipa, Perú: Editorial Bioestadístico.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Cueva Nazario, A. (2022). *Eficiencia del proceso de electrodiálisis en la eliminación de plomo en aguas del río Torres, Distrito Huallanca, Provincia Bolognesi, Ancash* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “EFICIENCIA DEL PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS EN LA ELIMINACIÓN DE PLOMO EN AGUAS DEL RÍO TORRES, DISTRITO HUALLANCA, PROVINCIA BOLOGNESI, ANCASH”

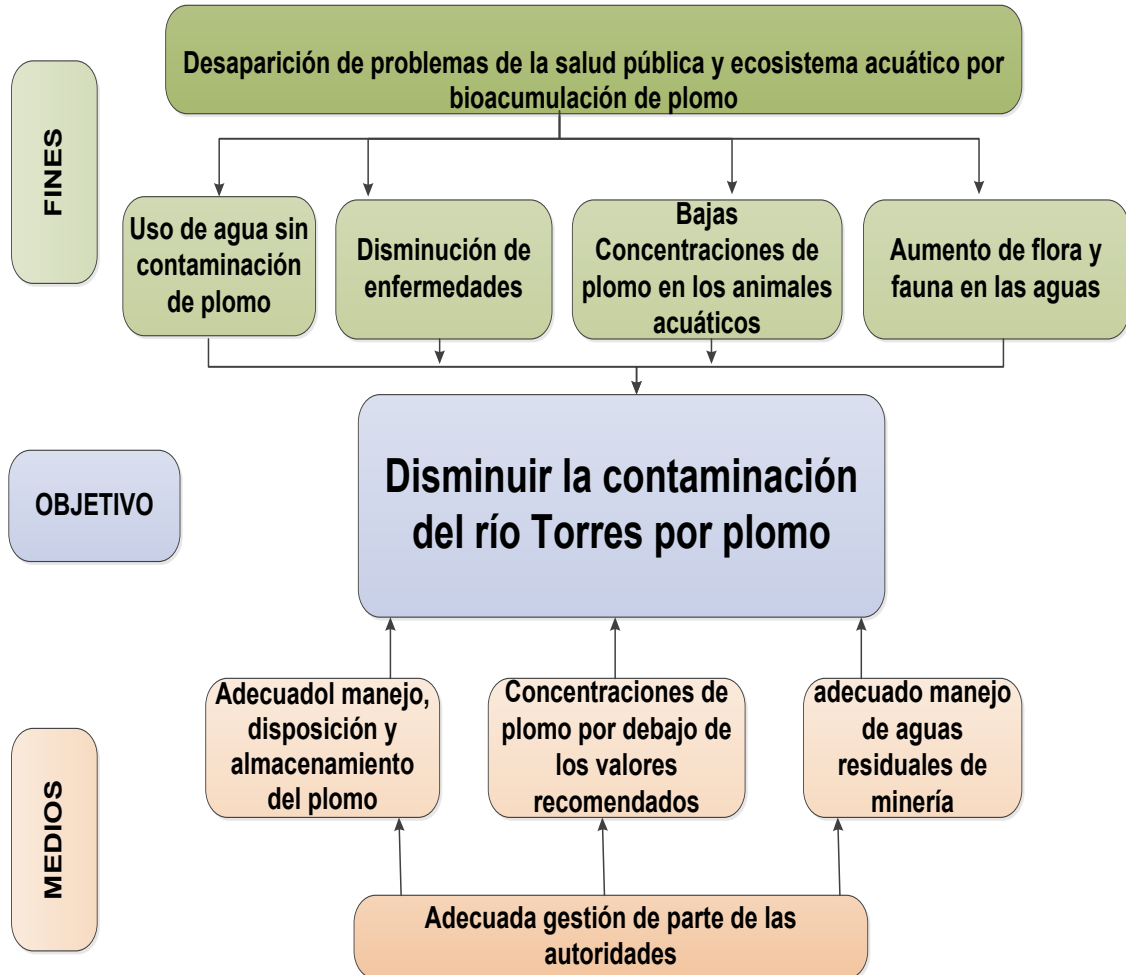
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensión	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Dependiente		
¿Cuál es la eficiencia del proceso de electrodiálisis en la eliminación de plomo en aguas del Río Torres, Distrito Huallanca, Provincia Bolognesi, Ancash?	Calcular la eficiencia del proceso de electrodiálisis en la eliminación de plomo en aguas del Río Torres, Distrito Huallanca, Provincia Bolognesi, Ancash.	Ha: El proceso de electrodiálisis es eficiente en la eliminación de plomo en las aguas del río Torres, Distrito Huallanca, provincia Bolognesi, Ancash	Concentración de plomo en aguas del río Torres, Distrito Huallanca	Contenido de plomo antes y después de su tratamiento	Tipo: Con intervención, analítico, prospectivo y longitudinal. Enfoque: Cuantitativo Nivel: Aplicativo Diseño: Experimento verdadero
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Independiente	Dimensión	Metodología
¿Cuál es la concentración de plomo en las aguas del río Torres antes de su tratamiento en los cinco puntos de monitoreo?	Realizar el proceso de la construcción y el sistema operativo del proceso de electrodiálisis a nivel laboratorio para reducir la concentración de plomo en aguas del río Torres.	Ha1: Al definir el parámetro químico de plomo en las aguas del río Torres, los valores obtenidos en los cinco puntos superan los estándares de calidad de agua para consumo humano.	Proceso de electrodiálisis	Parámetros operativos de funcionamiento	Población: Distrito de Huallanca (Agua del río Torres) Muestra: Se recolectará de 5 puntos un promedio de 30 litros.
¿Cuál es la concentración de plomo después de su tratamiento con electrodiálisis en las corrientes de solución diluida y concentrada?	Indicar los parámetros de operación más influyentes del proceso de electrodiálisis	Ha2: La concentración del plomo, después de su tratamiento mediante el proceso de electrodiálisis están dentro de los límites permisibles del Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.			

Nota. Matriz de consistencia.

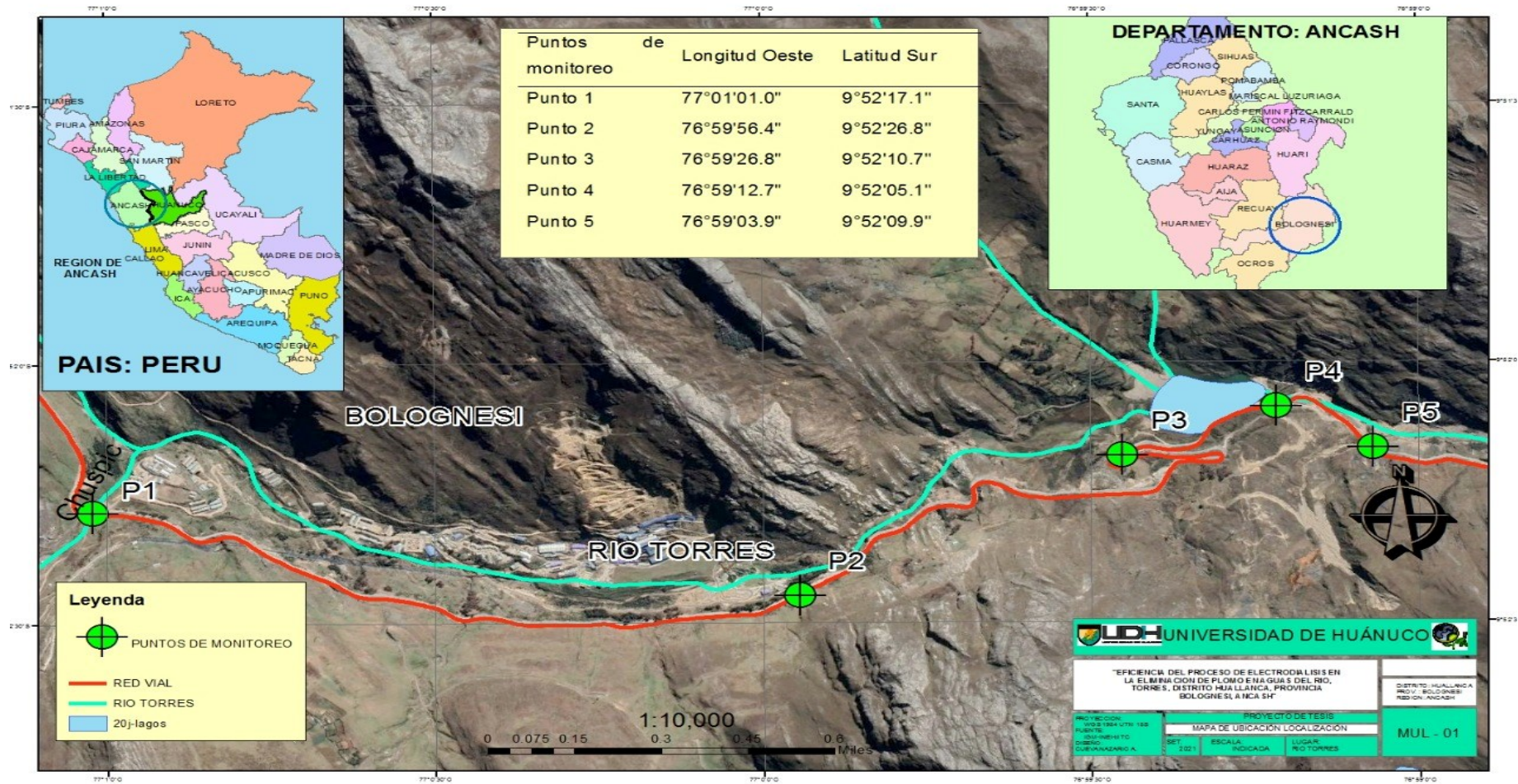
ANEXO 02
ÁRBOL DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 03
ÁRBOL DE MEDIO Y FINES



ANEXO 04 PLANO DE UBICACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO



ANEXO 05

IMÁGENES EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

Imagen: Recogiendo las muestras del río Torres para ser trasladados a la ciudad de Lima y su posterior tratamiento



Imagen: Analizando algunos parámetros de la muestra



Imagen: Inspección del equipo y proceso experimental junto a mi asesora y uno de los jurados



Imagen: Preparando las membranas con una solución salina para su uso posterior en la celda electroquímica



Imagen: Evaluando la conductividad de la muestra.



Imagen: Armando la celda de electrodiálisis

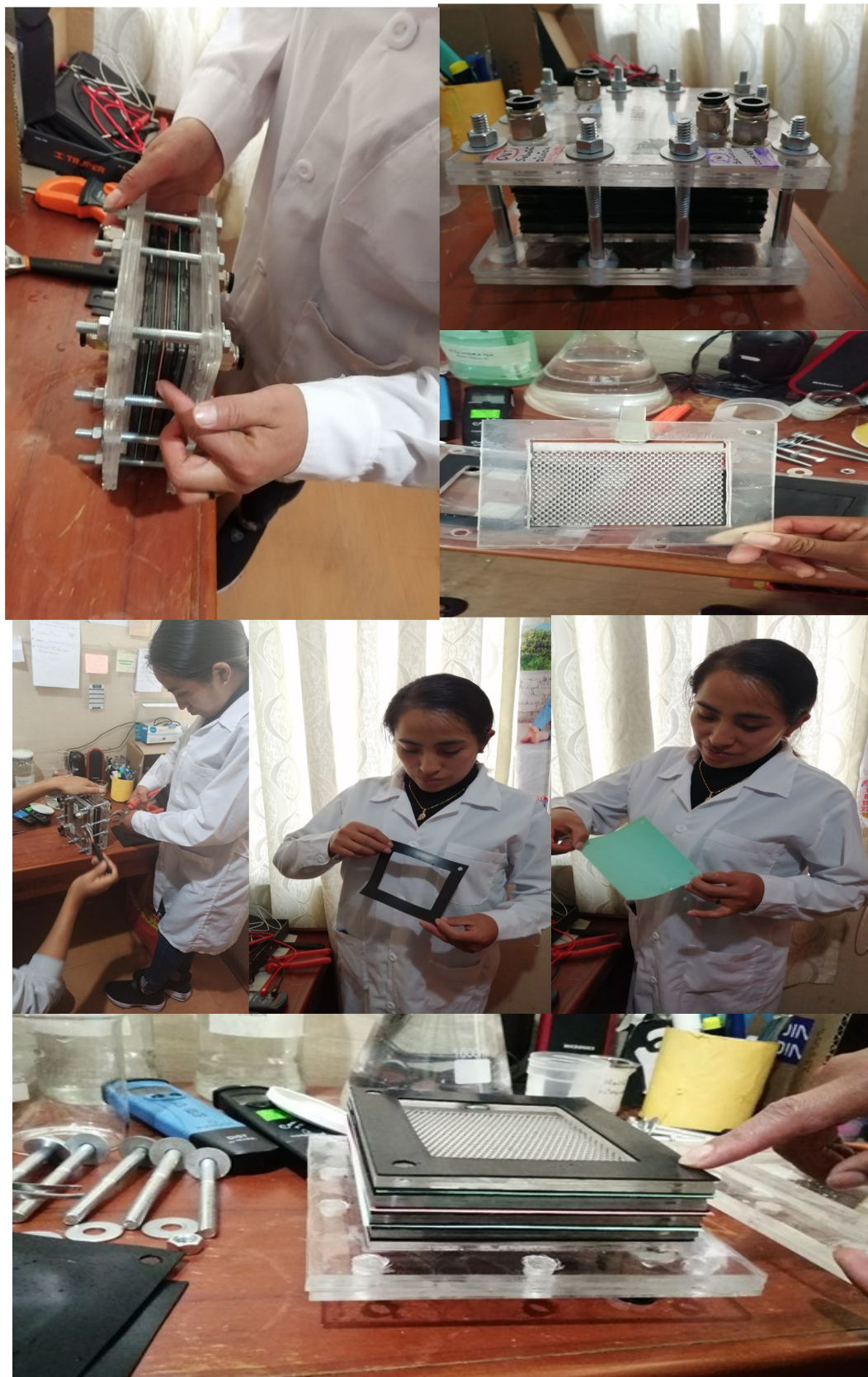


Imagen: Evaluando el tratamiento del agua mediante electrodiálisis



Imagen: Recabando datos de la parte experimental



Imagen: Entregando las muestras al laboratorio del antes y después de su tratamiento.



ANEXO 06
DATOS DE CAMPO EXPERIMENTAL

HORA	TIEMPO	VOLTAJE	INTENSIDAD	CONDUCTIVIDAD $\mu S/cm$		
				30- DILUIDA	50- CONCENTRADA	50- LAVADO
05:50	0	15	0.49	0.89	0.89	17.60
06:00	10	15	0.33	0.77	1.13	
06:10	20	15	0.18	0.72	1.34	
06:20	30	15	0.14	0.61	1.44	
06:30	40	15	0.12	0.55	1.52	
06:40	50	15	0.11	0.48	1.58	
06:50	60	15	0.10	0.42	1.65	
07:00	70	15	0.09	0.38	1.70	
07:10	80	15	0.08	0.32	1.75	
07:20	90	15	0.08	0.27	1.79	16.75

ANEXO 07
RESULTADOS DEL INFORME DE ENSAYO DEL LABORATORIO
ACTLABS SKYLINE PERU SAC.

QualityAnalysis...



INFORME DE ENSAYO

P22-438

A SOLICITUD DE:	ALEJANDRINA CUEVA NAZARIO
POR CUENTA DE:	ALEJANDRINA CUEVA NAZARIO
ASUNTO:	Análisis Químico
CONTACTO:	Alejandrina Cueva
TIPO DE MUESTRA(S):	Solución
CANTIDAD DE MUESTRA(S):	15
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS:	Soluciones neutras
CONDICIONES DE RECEPCIÓN:	En frascos de plástico
FECHA DE RECEPCIÓN:	Miércoles, 01 de Junio de 2022
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO:	01-06-22 al 04-06-22
FECHA DE REPORTE:	Sábado, 04 de Junio de 2022
INSTRUCCIONES DE ENSAYO:	Code VH-ME-ICP2 Análisis por ICP-OES Agua Regia
TOTAL DE PAGINAS: 09 (Incluida esta)	

Los resultados corresponden al ensayo solicitado en la (s) muestra (s) recibida (s)

Los ensayos se realizaron en :
ACTLABS SKYLINE PERU SAC.
Calle Martín de Murúa N° 170-174
Urb. Maranga- San Miguel, Lima - Peru

Innovative Technologies

Ing. Veronica Caso
Jefe de Laboratorio
ACTLABS SKYLINE PERU SAC

Certificado por:



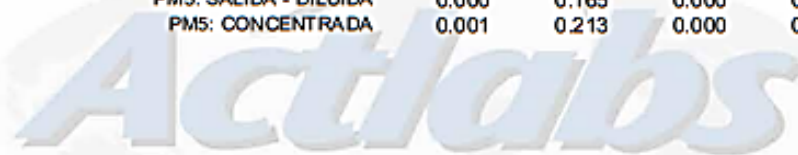
SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERÚ S.A.C.
Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019.

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
Central Telefónica: (511) 4649762 - Móvil: 994 698 219 / 993 301 872 - Correo: comercial@actlabsperu.com - www.actlabsperu.com

RESULTADOS

	Símbolo de Analito	Ag	Al	As	Ba	Be
		VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	PM3: ENT. LAG. CONTAYCOCHA	0.000	0.262	0.004	0.062	0.001
2	PM2: ENTRADA-CURVA	0.001	0.283	0.000	0.061	0.001
3	PM1: ENTRADA-CHUSPIC	0.000	0.206	0.064	0.050	0.000
4	PM1: SALIDA DILUIDA	0.000	0.053	0.042	0.022	0.000
5	PM2: SALIDA DILUIDA	0.000	0.171	0.000	0.034	0.000
6	PM3: SALIDA DILUIDA	0.000	0.200	0.000	0.035	0.000
7	PM1: SALIDA CONCENTRADA	0.001	0.226	0.087	0.061	0.000
8	PM4: SALIDA DILUIDA	0.000	0.187	0.000	0.038	0.000
9	PM4: SALIDA CONCENTRADA	0.001	0.233	0.000	0.050	0.000
10	PM2: SALIDA CONCENTRADA	0.001	0.238	0.000	0.054	0.001
11	PM3: SALIDA CONCENTRADA	0.000	0.276	0.009	0.072	0.001
12	PM5: ENT. - EXTRAC. CARBON	0.001	0.212	0.000	0.055	0.000
13	PMM: ENT.-SAL. LAG. CONTAYCOCHA	0.000	0.266	0.000	0.060	0.000
14	PM5: SALIDA - DILUIDA	0.000	0.165	0.000	0.039	0.000
15	PM5: CONCENTRADA	0.001	0.213	0.000	0.056	0.000

QualityAnalysis



Innovative Technologies

Certificados por:



SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERÚ S.A.C.
 Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
 Central Telefónica: (511) 4649762 - Móvil: 994 698 219 / 993 301 872 - Correo: comercial@actlabsperu.com - www.actlabsperu.com

RESULTADOS

	Símbolo de Análisis	Bi		Ca		Cd		Co		Cr	
		VH-ME-ICP2		VH-ME-ICP2		VH-ME-ICP2		VH-ME-ICP2		VH-ME-ICP2	
		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm	
1	PM3: ENT. LAG. CONTAYCOCHA	0.000	282.564	0.004	0.035	0.000					
2	PM2: ENTRADA-CURVA	0.043	302.473	0.006	0.037	0.000					
3	PM1: ENTRADA-CHUSPIC	0.003	256.638	0.006	0.020	0.000					
4	PM1: SALIDA DILUIDA	0.000	51.600	0.000	0.013	0.000					
5	PM2: SALIDA DILUIDA	0.000	137.389	0.003	0.013	0.000					
6	PM3: SALIDA DILUIDA	0.000	186.659	0.001	0.026	0.000					
7	PM1: SALIDA CONCENTRADA	0.004	261.786	0.007	0.029	0.000					
8	PM4: SALIDA DILUIDA	0.000	170.027	0.004	0.017	0.000					
9	PM4: SALIDA CONCENTRADA	0.015	222.945	0.007	0.034	0.000					
10	PM2: SALIDA CONCENTRADA	0.058	262.182	0.007	0.051	0.000					
11	PM3: SALIDA CONCENTRADA	0.000	318.119	0.005	0.046	0.000					
12	PM5: ENT. - EXTRAC. CARBON	0.000	227.298	0.009	0.033	0.000					
13	PM4: ENT.-SAL. LAG. CONTAYCOCHA	0.010	257.598	0.006	0.025	0.000					
14	PM5: SALIDA - DILUIDA	0.000	173.395	0.005	0.020	0.000					
15	PM5: CONCENTRADA	0.000	245.006	0.013	0.044	0.000					

Quality analysis



Innovative Technologies

Certified by:



SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERÚ S.A.C.
 Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019.

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
 Central Telefónica: (51) 4649762 - Móvil: 994 698 219 / 993 301 872 - Correo: comercial@actlabsperu.com - www.actlabsperu.com

RESULTADOS

	Símbolo de Análisis	Cu	Fe	Ga	Hg	K
	Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
	Símbolo de Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	PM3: ENT. LAG. CONTAYCOCHA	0.000	1.328	0.000	0.062	3.216
2	PM2: ENTRADA-CURVA	0.000	1.377	0.008	0.080	3.389
3	PM1: ENTRADA-CHUSPIC	0.001	0.924	0.008	0.026	6.698
4	PM1: SALIDA DILUIDA	0.000	0.423	0.008	0.012	1.091
5	PM2: SALIDA DILUIDA	0.000	0.567	0.000	0.064	1.946
6	PM3: SALIDA DILUIDA	0.000	0.677	0.000	0.028	2.858
7	PM1: SALIDA CONCENTRADA	0.001	0.987	0.018	0.041	11.039
8	PM4: SALIDA DILUIDA	0.000	0.173	0.000	0.023	2.756
9	PM4: SALIDA CONCENTRADA	0.000	1.011	0.000	0.051	3.377
10	PM2: SALIDA CONCENTRADA	0.000	1.422	0.019	0.095	4.505
11	PM3: SALIDA CONCENTRADA	0.000	1.478	0.000	0.070	3.856
12	PM5: ENT. - EXTRAC. CARBON	0.000	0.701	0.001	0.027	2.831
13	PM4: ENT.-SAL. LAG. CONTAYCOCHA	0.000	0.716	0.000	0.040	3.059
14	PM5: SALIDA - DILUIDA	0.000	0.457	0.000	0.020	2.645
15	PM5: CONCENTRADA	0.000	1.111	0.001	0.070	3.111



Innovative Technologies

Certificados por:



SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERÚ S.A.C.
 Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
 Central Telefónica: (51) 4649762 - Móvil: 994 698 219 / 993 301 872 - Correo: comercial@actlabsperu.com - www.actlabsperu.com

RESULTADOS

	Simbolo de Analito	La	Mg	Mn	Mo	Na
	Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
	Simbolo de Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	PM3: ENT. LAG. CONTAYCOCHA	0.014	35.210	1.789	0.033	5.285
2	PM2: ENTRADA-CURVA	0.013	37.425	1.918	0.018	5.545
3	PM1: ENTRADA-CHUSPIC	0.011	23.129	1.284	0.011	13.801
4	PM1: SALIDA DILUIDA	0.004	5.507	0.312	0.010	17.445
5	PM2: SALIDA DILUIDA	0.009	20.701	0.395	0.012	38.329
6	PM3: SALIDA DILUIDA	0.010	28.170	0.365	0.029	14.700
7	PM1: SALIDA CONCENTRADA	0.012	26.498	1.287	0.020	262.727
8	PM4: SALIDA DILUIDA	0.007	24.948	0.293	0.001	69.458
9	PM4: SALIDA CONCENTRADA	0.015	36.358	1.541	0.002	128.535
10	PM2: SALIDA CONCENTRADA	0.015	40.611	1.995	0.019	213.242
11	PM3: SALIDA CONCENTRADA	0.015	40.170	1.932	0.040	23.554
12	PM5: ENT. - EXTRAC. CARBON	0.011	29.588	1.626	0.027	4.842
13	PM4: ENT.-SAL. LAG. CONTAYCOCHA	0.012	32.804	1.717	0.002	5.216
14	PM5: SALIDA - DILUIDA	0.008	25.237	0.373	0.007	14.908
15	PM5: CONCENTRADA	0.017	31.506	1.668	0.038	22.779

Quality



Innovative Technologies

Certificado por:




SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERÚ S.A.C.
 Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
 Central Telefónica: (51) 4649762 - Móvil: 994 698 219 / 993 301 872 - Correo: comercial@actlabsperu.com - www.actlabsperu.com

RESULTADOS

	Símbolo de Análisis	Símbolo de Unidad	Nb	Ni	P	Pb	S
			VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	PM3: ENT. LAG. CONTAYCOCHA		0.015	0.093	0.361	0.023	225.828
2	PM2: ENTRADA-CURVA		0.022	0.091	0.049	0.019	233.783
3	PM1: ENTRADA-CHUSPIC		0.019	0.038	0.303	0.011	187.409
4	PM1: SALIDA DILUIDA		0.003	0.017	0.146	0.006	48.687
5	PM2: SALIDA DILUIDA		0.014	0.057	0.007	0.007	111.094
6	PM3: SALIDA DILUIDA		0.011	0.088	0.007	0.009	137.898
7	PM1: SALIDA CONCENTRADA		0.025	0.050	0.939	0.021	169.398
8	PM4: SALIDA DILUIDA		0.007	0.079	0.000	0.007	127.035
9	PM4: SALIDA CONCENTRADA		0.019	0.112	0.602	0.042	170.670
10	PM2: SALIDA CONCENTRADA		0.033	0.099	0.058	0.024	207.040
11	PM3: SALIDA CONCENTRADA		0.018	0.099	0.457	0.029	201.337
12	PM5: ENT. - EXTRAC. CARBON		0.009	0.084	0.661	0.037	188.675
13	PM4: ENT.-SAL. LAG. CONTAYCOCHA		0.017	0.093	0.544	0.033	202.802
14	PM5: SALIDA - DILUIDA		0.002	0.055	0.000	0.011	126.684
15	PM5: CONCENTRADA		0.011	0.095	0.856	0.048	165.368

Qualit



Innovative Technologies

Certificado por:



SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERÚ S.A.C.
 Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019.

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
 Central Telefónica: (51) 4649762 - Móvil: 994 698 219 / 993 301 872 - Correo: comercial@actlabsperu.com - www.actlabsperu.com

RESULTADOS

	Símbolo de Analito	Sb	Sc	Se	Sn	Sr
	Código de Análisis	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
	Símbolo de Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	PM3: ENT. LAG. CONTAYCOCHA	0.000	0.001	0.051	0.000	1.130
2	PM2: ENTRADA-CURVA	0.072	0.000	0.000	0.110	1.223
3	PM1: ENTRADA-CHUSPIC	0.079	0.000	0.108	0.344	1.698
4	PM1: SALIDA DILUIDA	0.012	0.000	0.013	0.029	0.336
5	PM2: SALIDA DILUIDA	0.059	0.000	0.000	0.080	0.569
6	PM3: SALIDA DILUIDA	0.000	0.000	0.012	0.000	0.741
7	PM1: SALIDA CONCENTRADA	0.085	0.000	0.112	0.433	1.755
8	PM4: SALIDA DILUIDA	0.057	0.000	0.017	0.023	0.699
9	PM4: SALIDA CONCENTRADA	0.094	0.000	0.159	0.398	1.150
10	PM2: SALIDA CONCENTRADA	0.076	0.000	0.000	0.208	1.337
11	PM3: SALIDA CONCENTRADA	0.000	0.000	0.068	0.000	1.287
12	PM5: ENT. - EXTRAC. CARBON	0.073	0.000	0.019	0.373	0.978
13	PM4: ENT.-SAL LAG. CONTAYCOCHA	0.084	0.000	0.118	0.333	1.097
14	PM5: SALIDA - DILUIDA	0.038	0.000	0.000	0.050	0.726
15	PM5: CONCENTRADA	0.093	0.000	0.030	0.465	1.050

Quality



Innovative Technologies

Certificado por:



SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERÚ S.A.C.
 Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
 Central Telefónica: (51) 4649762 - Móvil: 994 698 219 / 993 301 872 - Correo: comercial@actlabsperu.com - www.actlabsperu.com

RESULTADOS

	Símbolo de Análisis	Símbolo de Unidad	Te	Ti	Ti	V	W
			VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	PM3: ENT. LAG. CONTAYCOCHA		0.052	0.006	0.215	0.002	0.000
2	PM2: ENTRADA-CURVA		0.143	0.006	0.091	0.011	0.000
3	PM1: ENTRADA-CHUSPIC		0.033	0.008	0.172	0.006	0.000
4	PM1: SALIDA DILUIDA		0.008	0.004	0.087	0.001	0.000
5	PM2: SALIDA DILUIDA		0.057	0.004	0.059	0.001	0.000
6	PM3: SALIDA DILUIDA		0.030	0.006	0.045	0.001	0.000
7	PM1: SALIDA CONCENTRADA		0.052	0.011	0.198	0.008	0.000
8	PM4: SALIDA DILUIDA		0.050	0.004	0.051	0.002	0.000
9	PM4: SALIDA CONCENTRADA		0.196	0.008	0.119	0.009	0.000
10	PM2: SALIDA CONCENTRADA		0.175	0.007	0.194	0.014	0.000
11	PM3: SALIDA CONCENTRADA		0.089	0.007	0.250	0.006	0.000
12	PM5: ENT. - EXTRAC. CARBON		0.128	0.006	0.054	0.002	0.000
13	PM4: ENT.-SAL LAG. CONTAYCOCHA		0.165	0.007	0.105	0.007	0.000
14	PM5: SALIDA - DILUIDA		0.039	0.003	0.020	0.002	0.000
15	PM5: CONCENTRADA		0.182	0.007	0.088	0.006	0.000



Innovative Technologies

Certificado por:



SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERÚ S.A.C.
 "Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado AENOR ER-0174/2019 e iQNet ES-0174/2019".

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
 Central Telefónica: (511) 4649762 - Móvil: 994 698 219 / 993 301 872 - Correo: comercial@actlabsperu.com - www.actlabsperu.com

RESULTADOS

	Símbolo de Análisis	Y	Zn	Zr	Pb-1	Pb-2
		VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2	VH-ME-ICP2
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	PM3: ENT. LAG. CONTAYCOCHA	0.002	0.339	0.003	0.023	0.023
2	PM2: ENTRADA-CURVA	0.002	0.194	0.004	0.037	0.037
3	PM1: ENTRADA-CHUSPIC	0.001	0.263	0.000	0.011	0.011
4	PM1: SALIDA DILUIDA	0.000	0.191	0.000	0.005	0.006
5	PM2: SALIDA DILUIDA	0.000	0.097	0.002	0.008	0.009
6	PM3: SALIDA DILUIDA	0.000	0.254	0.002	0.007	0.008
7	PM1: SALIDA CONCENTRADA	0.001	0.497	0.000	0.022	0.019
8	PM4: SALIDA DILUIDA	0.000	0.279	0.000	0.006	0.007
9	PM4: SALIDA CONCENTRADA	0.002	0.323	0.001	0.042	0.040
10	PM2: SALIDA CONCENTRADA	0.002	0.333	0.006	0.046	0.049
11	PM3: SALIDA CONCENTRADA	0.003	0.405	0.004	0.028	0.029
12	PM5: ENT. - EXTRAC. CARBON	0.001	0.600	0.003	0.019	0.019
13	PM4: ENT.-SAL LAG. CONTAYCOCHA	0.001	0.281	0.001	0.033	0.033
14	PM5: SALIDA - DILUIDA	0.000	0.516	0.001	0.006	0.009
15	PM5: CONCENTRADA	0.002	0.610	0.004	0.029	0.025

Innovative Technologies

Certificado por:



SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINES PERÚ S.A.C.
 "Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado AENOR ER-0174/2019 e ICNet ES-0174/2019"

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
 Central Telefónica: (511) 4649762 - Móvil: 994 698 219 / 993 301 872 - Correo: comercial@actlabsperu.com - www.actlabsperu.com