

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de dos métodos para la remoción de  
plomo en las aguas del canal de irrigación  
Merys, Junín, 2022**

Andrea Orihuela Torres

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**Mg. Edwin Natividad Gabriel Campos**

**Asesor**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida. Agradezco de manera especial y sincera a la Universidad Continental por aceptarme para realizar esta tesis, por darme la oportunidad de ser un profesional.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Mg. Edwin Natividad Gabriel Campos, por toda la colaboración brindada, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar esta tesis con éxito.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mis padres y hermanos, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

Finalmente, a mi pareja, que, con sus consejos, me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

¡Gracias!

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mis hermanos, por el apoyo incondicional, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuestos a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mi hijo por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor. Y a todas aquellas personas que durante todos estos años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>PORTADA</b>	i
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	ii
<b>DEDICATORIA</b>	iv
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	x
<b>RESUMEN</b>	xi
<b>ABSTRACT</b>	xii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	xiii
<b>CAPÍTULO I</b>	15
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b>	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1 Planteamiento del problema	15
1.1.2 Formulación del problema	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. Justificación e importancia	18
1.4. Hipótesis y descripción de variables	20
1.5. Operacionalización de las variables	20
<b>CAPÍTULO II</b>	22
<b>MARCO TEÓRICO</b>	22
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	27

2.2.	Bases teóricas	31
2.2.1.	Calidad del agua	31
2.2.2.	Calidad química del agua	32
2.2.3.	Presencia de metales en las fuentes de agua	33
2.2.4.	Origen del uso del plomo	34
2.2.5.	Química del plomo en el agua	34
2.2.6.	Metodologías utilizadas para la remoción de metales pesados	35
2.2.7.	Unidad de tratamiento con dos cubetas	42
2.2.8.	Remoción de metales pesados asistida por luz solar (RAOS)	42
2.3.	Definición de términos básicos	44
<b>CAPÍTULO III</b>		46
<b>METODOLOGÍA</b>		46
3.1.	Método y alcances de la investigación	46
3.1.1.	Método de la investigación	46
3.1.2.	Alcances de la investigación	46
3.2.	Diseño de la Investigación	46
3.2.1.	Procedimiento experimental	47
3.3.	Población y muestra	52
3.3.1.	Población	52
3.3.2.	Muestra	52
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	53
3.4.1.	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	53
3.4.2.	Instrumentos utilizados en la recolección de datos	53
<b>CAPÍTULO IV</b>		55
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		55
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información	55
4.1.1.	Concentración de plomo en las aguas del canal MERYS	55

4.1.2. Influencia de la masa de coagulante en la comparativa de las dos tecnologías para la remoción de plomo	56
4.1.3. Influencia del tiempo de contacto en la comparativa de las dos tecnologías para la remoción de plomo	60
4.1.4. Influencia del pH en la comparativa de las dos tecnologías para la remoción de plomo	64
4.1.4. Eficiencia de las dos tecnologías: unidad de tratamiento con dos cubetas y RAOS	67
4.2. Prueba de hipótesis	73
4.3. Discusión de resultados	79
<b>CONCLUSIONES</b>	82
<b>RECOMENDACIONES</b>	83
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	84
<b>ANEXOS</b>	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representación del intercambio iónico en una matriz [40].	36
<b>Figura 2.</b> Proceso de osmosis inversa [40].	37
<b>Figura 3.</b> Mecanismo de electrodeposición [42].	38
<b>Figura 4.</b> Desarrollo del proceso de coagulación/floculación [44].	39
<b>Figura 5.</b> Remoción de metales pesados por el método RAOS. [53].	43
<b>Figura 6.</b> Remoción de contaminantes por el método RAOS. [34].	44
<b>Figura 7.</b> Canal MERYS.	52
<b>Figura 8.</b> Punto de toma de muestra.	53
<b>Figura 9.</b> Concentración inicial de plomo.	55
<b>Figura 10.</b> Toma de muestra del canal de irrigación MERYS.	56
<b>Figura 11.</b> Remoción de plomo con la variación de la masa de $\text{FeCl}_3$ - DC	58
<b>Figura 12.</b> Remoción de plomo con la variación de la masa de $\text{FeCl}_3$ - RAOS	59
<b>Figura 13.</b> Remoción de plomo con las dos tecnologías variando la masa de coagulante	60
<b>Figura 14.</b> Remoción de plomo con la variación del tiempo de contacto - DC	62
<b>Figura 15.</b> Remoción de plomo con la variación del tiempo de contacto – RAOS	63
<b>Figura 16.</b> Remoción de plomo con las dos tecnologías variando el tiempo de contacto.	64
<b>Figura 17.</b> Remoción de plomo con la variación del pH – DC	65
<b>Figura 18.</b> Remoción de plomo con la variación del pH – RAOS.	66
<b>Figura 19.</b> Remoción de plomo con las dos tecnologías variando el pH.	67
<b>Figura 20.</b> Efectos principales en la remoción de plomo - DC	68
<b>Figura 21.</b> Interacción de las variables en la remoción de plomo - DC	69
<b>Figura 22.</b> Media de la remoción de plomo – DC.	69
<b>Figura 23.</b> Efectos principales en la remoción de plomo – RAOS.	71
<b>Figura 24.</b> Interacción de las variables en la remoción de plomo – RAOS.	71
<b>Figura 25.</b> Media de la remoción de plomo - RAOS	72
<b>Figura 26.</b> Eficiencia de las dos tecnologías	73
<b>Figura 27.</b> Diagrama de Pareto para la tecnología de dos cubetas.	75
<b>Figura 28.</b> Diagrama de Pareto para la tecnología de dos cubetas.	76
<b>Figura 29.</b> Diagrama de Pareto para la tecnología de RAOS.	77

**Figura 30.** Diagrama de Pareto para la tecnología de RAOS. .... 78

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Explicación de las variables de la investigación</i> .....	21
<b>Tabla 2.</b> <i>Proceso de análisis de las muestras</i> .....	51
<b>Tabla 3.</b> <i>Variación de la masa de coagulante en la remoción de plomo - DC</i> .....	57
<b>Tabla 4.</b> <i>Variación de la masa de coagulante en la remoción de plomo - RAOS.</i> 58	
<b>Tabla 5.</b> <i>Variación del tiempo de contacto en la remoción de plomo - DC</i> .....	61
<b>Tabla 6.</b> <i>Variación del tiempo de contacto en la remoción de plomo – RAOS</i> .....	62
<b>Tabla 7.</b> <i>Variación del pH en la remoción de plomo – DC</i> .....	64
<b>Tabla 8.</b> <i>Variación del pH en la remoción de plomo – RAOS</i> .....	65
<b>Tabla 9.</b> <i>Remoción de plomo con la tecnología de dos cubetas</i> .....	67
<b>Tabla 10.</b> <i>Remoción de plomo con la tecnología de RAOS</i> .....	70
<b>Tabla 11.</b> <i>Análisis de varianza para la tecnología de dos cubetas</i> .....	74
<b>Tabla 12.</b> <i>Análisis de varianza para la tecnología de RAOS</i> .....	76

## RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue comparar la eficiencia de las tecnologías (unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS)) para la remoción de plomo en el agua del canal de irrigación MERYS del distrito de Sicaya, Junín en el 2022. El método que se ha utilizado en esta investigación es el hipotético deductivo, de tipo aplicado, nivel explicativo y diseño factorial de  $2^3$ . Para la remoción de plomo del canal MERYS, se caracterizó las aguas. Los resultados muestran una concentración de 2.53 mg/l de plomo. Luego, se identificó la influencia de la masa de coagulante en la comparativa de las tecnologías de dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS), donde se trabajó con cantidades de 1.5 g y 5 g. La mejor remoción de plomo se dio a 1.5 g de coagulante para ambas tecnologías. Para la tecnología de dos cubetas, se obtuvo una remoción de 94.78 % y, para la RAOS, de 65.57 %, con tiempos de 2 horas y 3 horas. La mejor remoción de plomo se dio a las 3 horas para ambas tecnologías. Para dos cubetas, se tuvo una remoción de 68.88 % y, para la RAOS, de 59.04 %, pH de 7 y 9. La mejor remoción de plomo se dio a un pH de 7 para ambas tecnologías. Para dos cubetas, se logró una remoción de 66.78 % y, para la RAOS, de 62.90 %. Finalmente, se analizó la interacción de los 3 factores con una masa de coagulante de 1.5 g a 5 g, tiempo de contacto de 2 horas a 3 horas y pH de 7 a 9. Se observó que, a una masa de coagulante de 1.5 g, pH de 7 y tiempo de contacto de 3 horas, se obtuvo un 99.37 % para la tecnología de dos cubetas y, para RAOS, de 85.96 %. A partir del análisis, se concluye que la tecnología de dos cubetas es la más eficiente, dado que removió el plomo en un 99.37 % y este valor está por debajo del ECA agua para el riego de vegetales y bebidas de animales. Por ello, es una tecnología recomendada para futuras investigaciones.

## ABSTRACT

The main objective of the research was to compare the efficiency of the technologies (treatment unit with two buckets and the unit of removal assisted by sunlight (RAOS)) for the removal of lead in the water of the MERYS irrigation channel of the Sicaya district, of Junín in 2022. The research methodology was the deductive hypothetical, with an applied type, explanatory level and factorial design of  $2^3$ . For the removal of lead from the MERYS channel, the waters were characterized. The results show a concentration of 2.53 mg/L of lead, then the influence of the amount of coagulant was identified in the comparison of the technologies of two buckets and the removal unit assisted by sunlight (RAOS), where we worked with amounts of 1.5 g and 5 g, the best removal of lead was given to 1.5 g of coagulant for both technologies, for two buckets there was a removal of 94.78% and for the RAOS of 65.57%, with times of 2 hours and 3 hours, the best Lead removal occurred at 3 hours for both technologies, for two buckets there was a removal of 68.88% and for the RAOS of 59.04%, pH 7 and 9, the best lead removal occurred at pH 7 for both technologies, for two buckets there was a removal of 66.78% and for the RAOS of 62.90% and finally the interaction of the 3 factors with a quantity of coagulant from 1.5 g to 5 g, contact time from 2 hours to 3 hours and pH of 7 to 9, noting that at a coagulant quantity of 1.5 g, pH of 7 and contact time After 3 hours, 99.37% was obtained for the two-cuvette technology and 85.96% for RAOS. Concluding that the technology of two buckets is the most efficient since it removed lead by 99.37%, whose value is below the ECA water for irrigation of vegetables and animal drinks, being a recommended technology for future research.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados es un problema mundial existente y creciente, especialmente, en los países en desarrollo. Los metales pesados como Pb, Zn, Cu y Fe a menudo se descargan en las industrias de revestimiento de metales, limpieza y fabricación de metales, fabricación de baterías, fabricación de productos químicos y pinturas y pigmentos. El tratamiento y eliminación de metales pesados ha llamado mucho la atención debido a su asociación con diversos problemas de salud. Aunque metales como Mn, Fe, Cu y Zn son nutrientes esenciales en niveles bajos (pero son tóxicos en concentraciones más altas), otros como Hg, Cd y Pb podrían traer graves consecuencias fisiológicas o neurológicas incluso en pequeñas cantidades [1].

Debido a los efectos nocivos de los metales pesados para los seres humanos y la vida acuática, las autoridades ambientales han establecido límites permisibles para diferentes tipos de aguas. En el Perú, la descarga de aguas residuales industriales está regulada por los estándares de calidad ambiental (ECA). Es posible que sea necesario eliminar o reducir varios componentes de desechos para cumplir con los límites de descarga estándar antes de liberarlos a las corrientes receptoras. Actualmente, en el Perú, la mayoría de las industrias tratan sus aguas residuales para cumplir con los límites de descarga de la categoría 3 de los ECA. Los límites de descarga de la categoría 3, para aguas de riego de vegetales y bebida de animales, para plomo es de 0.05 mg/l [1].

Las tecnologías comunes para la eliminación de metales pesados de soluciones acuosas son la precipitación química, la coagulación-floculación, el intercambio iónico y la adsorción. En este documento, se describe el Método de la Unidad de tratamiento con dos cubetas y el Método de reducción asistido por luz solar (RAOS). Estos se basan en el proceso de coagulación-floculación. Para ello, se utiliza como agente coagulante el hierro trivalente (hierro III), el cual es uno de los más utilizados para el tratamiento de aguas que van a ser potabilizadas, así como también en plantas de tratamiento de aguas residuales. Se obtuvo buenos resultados en la remoción de metales pesados y de otras sustancias presentes en el agua.

En el capítulo uno, se aborda la problemática de la contaminación del agua a lo largo del valle del Mantaro, donde la mayoría de las aguas de los ríos, principalmente los que se encuentran aledaños a empresas mineras, asentamientos urbanos y otras zonas industriales, como es el caso del Río Mantaro, contienen plomo. El plomo es uno de los

metales pesados que se encuentra en mayor presencia en las aguas, distribuido por las diversas actividades industriales, principalmente, mineras-metalúrgicas. Es un elemento bioacumulable y muy tóxico. Actualmente, es usado en la fabricación de diversos equipos y materiales como baterías, pinturas, esmaltes, materiales de plomería, entre otros [2]. Asimismo, en este capítulo, se plantean los objetivos, hipótesis y la justificación de la investigación.

En el capítulo dos, se incluyen los antecedentes nacionales e internacionales, los cuales analizan y explican la eficacia de las tecnologías de dos cubetas y RAOS en la remoción de plomo. Además, se detalla el fundamento teórico y la definición de términos.

En el capítulo tres, se detalla la metodología utilizada en esta investigación. Es decir, se explica en qué consiste el método hipotético – deductivo con un tipo aplicativo, nivel exploratorio y un diseño factorial de 23 con 3 factores y dos niveles.

En el capítulo cuatro, se detallan los resultados obtenidos después del desarrollo experimental. Estos se han presentado a través de tablas y gráficos. Asimismo, se incluye la discusión de los resultados y la prueba de las hipótesis.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1 Planteamiento del problema

A lo largo del valle del Mantaro, se evidencia la contaminación de la mayoría de las aguas de los ríos, principalmente, los que se encuentran aledaños a las empresas mineras, asentamientos urbanos y otras zonas industriales. Este es el caso del Río Mantaro, en el distrito de San Pedro de Coris (Huancavelica). El 10 de julio, más de 67 mil 400 metros cúbicos de relave se desprendieron de su zona de tratamiento y afectaron un área considerable hasta llegar el mismo río [3].

La ausencia de reglamentaciones por parte del gobierno que controlen los efluentes líquidos industriales, el incumplimiento de estas reglamentaciones y otras leyes que protegen el recurso hídrico conlleva a la descarga masiva e incontrolada de sustancias peligrosas y tóxicas para la salud de las personas y para el medio ambiente como los metales pesados, los que causan mayor daño. La peligrosidad de estas sustancias reside en que son materiales bioacumulables, que cuando se presentan en altas concentraciones son dañinos para la naturaleza y los seres vivos. La situación resulta preocupante, dado que las aguas de los ríos son usadas mayormente para diversas actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la recreación e incluso para el consumo humano.

La exposición a concentraciones elevadas de metales pesados como el mercurio, cadmio, arsénico, plomo puede afectar tanto al medio ambiente como a las personas. En el ambiente, se puede producir fenómenos como la degradación, la esterilización de los suelos y la contaminación de los cuerpos de agua. Respecto al ser humano, el consumo de aguas contaminadas con metales pesados aumenta el riesgo de padecer enfermedades, dado que estos son nocivos para el organismo humano [4].

El plomo es uno de los metales pesados que se encuentra en mayor porcentaje en las aguas; este es distribuido a través de las diversas actividades industriales,

principalmente, las minero-metalúrgicas. Es un elemento bioacumulable y muy tóxico. Actualmente, se utiliza en la fabricación de diversos equipos y materiales como baterías, pinturas, esmaltes, materiales de plomería, entre otros [2].

Con el paso de tiempo, a partir de diversas investigaciones, se ha comprobado que el plomo puede ocasionar problemas en la salud como la plumbosis, es decir, intoxicación por plomo. Los síntomas de esta enfermedad son dolor cabeza, cansancio, dolor de huesos, etc. Asimismo, se señala que los compuesto que tienen plomo  $Pb^{2+}$  resultan ser cancerígenos. Una vez que el plomo es absorbido por el cuerpo demora 20 años en ser eliminado, lo que provoca también enfermedades degenerativas; en el ambiente, el plomo suele ser perjudicial, ya que es un elemento acumulativo de difícil degradación. [5]

Actualmente, existen métodos y tecnologías para la remediación de aguas contaminadas por metales pesados como el intercambio iónico que utiliza resinas y la absorción que utiliza carbón activado. Ambas tecnologías son muy eficientes, pero los materiales suelen ser costosos, además de haber cierta dificultad en su implementación y operación. Por ello, se está buscando nuevas tecnologías no convencionales de bajo costo que permitan cambiar el carbón activado y a las resinas de intercambio iónico.

En este documento, se evalúan dos tecnologías no convencionales para la remoción del plomo: unidad de tratamiento con dos cubetas y la reducción asistida por luz solar (RAOS). Ambas se basan en el proceso de coagulación-floculación y se utiliza como agente coagulante el hierro trivalente (hierro III), que es muy bueno en la absorción de metales pesados. En ambos casos, se realizarán las pruebas experimentales para hallar su eficiencia en la remoción de plomo de los cuerpos de agua; para ello, se utilizará materiales accesibles.

### **1.1.2 Formulación del problema**

#### **A. Problema general**

¿Qué diferencia existe entre las tecnologías unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por la luz solar (RAOS) en la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYYS, Sicaya, Junín en el año 2022?

## B. Problemas específicos

- ¿Qué concentración de plomo presentan las aguas del canal de irrigación MERYS?
- ¿Cómo influye la masa de coagulante en la comparativa de las dos tecnologías unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYS?
- ¿Cómo influye el tiempo de contacto en la comparativa de los dos métodos unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYS?
- ¿Cómo influye el pH en la comparativa de los dos métodos unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYS?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Comparar la eficiencia de las tecnologías unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo en el agua del canal de irrigación MERYS del distrito de Sicaya, de Junín en el 2022

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de plomo que presentan las aguas del canal de irrigación MERYS
- Identificar la influencia de la masa de coagulante en la comparativa de las dos tecnologías unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYS
- Describir la influencia del tiempo de contacto en la comparativa de las dos tecnologías unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYS

- Identificar la influencia del pH en la comparativa de los dos métodos unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYs.

### **1.3. Justificación e importancia**

#### **Justificación teórica:**

En condiciones normales, el plomo no suele reaccionar con el agua. Sin embargo, cuando el agua se reactiva con el aire húmedo, reacciona con el plomo formando un hidróxido que es altamente tóxico. Además, lo mismo ocurre en caso de que el plomo, en forma de sales u óxidos, sea absorbido por el agua; debido a ello, en esta investigación, se plantea dos tecnologías: unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS)). La primera se basa en el proceso de coagulación-floculación, donde el coagulante hierro (III) atraerá la partículas en suspensión cargadas electronegativamente, lo que generará una neutralización, que producirá sedimentos que son eliminados en un proceso de filtración. Por otra parte, la RAOS busca generar los flóculos de hierro por oxidación solar en presencia de aire y citrato. Este precipitado logra oxidar al plomo actuando como floculo. Ambos métodos pueden ser implementados de forma casera; no requieren operaciones complejas y, principalmente, muestran alta eficiencia en la remoción de plomo en el agua.

#### **Justificación metodológica:**

Con el paso de los años, la problemática de la contaminación del agua se ha incrementado de forma exponencial. Esta sustancia líquida es principalmente afectada por los metales pesados provenientes de diferentes industrias.

La presencia de metales pesados en el agua puede llegar a provocar graves alteraciones en las personas que los consuman. El nivel del daño dependerá del tipo de metal pesado, de su naturaleza, la masa presente en el cuerpo de agua y la resistencia que el cuerpo receptor tenga. Uno de los metales más agravantes del agua es el plomo, un compuesto bioacumulable y altamente tóxico que daña significativamente al ambiente y a las personas, cuya remoción en el presente trabajo se dará con dos tecnologías. La unidad de tratamiento con dos cubetas consiste en hacer la coagulación-floculación con el coagulante hierro trivalente.

Para ello, en la primera cubeta, se agrega el coagulante al agua a tratar. Se espera a que se formen los flóculos y se pasa la tercera parte a otra cubeta que contiene arena, para así eliminar las micropartículas que pueda tener el agua tratada. La unidad de remoción asistida con luz solar (RAOS) busca tener los flóculos de hidróxido de hierro mediante la oxidación de las sales de hierro por oxidación solar expuesto al aire y un citrato. La reacción fotoquímica producida ayudará en la formación del hidróxido, que será usado para la coagulación del plomo; luego, será removida por decantación o filtración. Las propuestas de estas dos tecnologías muestran ser eficiente para remover el plomo del agua y así poder disminuir los daños ambientales y a la salud que generan su presencia en el canal de irrigación Merys. [6]

### **Justificación práctica:**

La población de Sicaya utiliza las aguas del canal Merys para el riego de sus plantaciones, pero, debido a la carga de metales pesados entre los que resalta el plomo, se ha visto afectada por la secuelas que este metal trae. Por ello, el presente estudio pretende remover el plomo con la aplicación de dos tecnologías: unidad de tratamiento con dos cubetas y la reducción asistida por luz solar (RAOS), usando, en ambas, el coagulante hierro trivalente. Con esta absorción de plomo, la población de Sicaya, aledaña al canal de regadío, podrá usar el agua ya tratada sin riesgo de afecciones a su salud ni a sus cultivos.

### **Importancia**

El agua del canal Merys es usada principalmente para el riego; sin embargo, se dan casos en los que esta es usada como bebida de los animales de la zona, los cuales forman parte de la dieta de los habitantes. De esta manera, se corre el riesgo de que también las personas sean contaminadas con el plomo presente en el agua del canal mencionado, de ahí la importancia de tratarla. También, se ha visto que, generalmente, los métodos utilizados en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados pueden tener dificultades en cuanto a la operación o al costo. Por ello, en esta investigación, se plantea dos tecnologías (unidad de tratamiento con dos cubetas y reducción asistida por luz solar (RAOS)) que, aparte de no ser muy costosas, permiten una remoción eficiente de los metales pesados, principalmente del plomo, de las aguas contaminadas; además, se usa un nuevo absorbente (hierro (III)), que reemplaza las resinas y el carbón activado.

#### **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

##### **Hipótesis de investigación (Hi)**

La unidad de tratamiento con dos cubetas presentará mayor eficiencia significativa frente a la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYs.

Para poder establecer el contraste de hipótesis, se plantea una hipótesis nula (H0), que sería:

La unidad de tratamiento con dos cubetas no presentará mayor eficiencia significativa frente a la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYs.

#### **1.5. Operacionalización de las variables**

Variable independiente (X)

- Masa de coagulante (g)

Variable dependiente (Y)

- Concentración de plomo (mg/l)

**Tabla 1.** Explicación de las variables de la investigación

Variable	Descripción conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	
Variable independiente	Coagulante	Los coagulantes son materiales químicos que se adicionan al agua para lograr la descarga de todas las partículas coloidales dando origen a la formación de medios más grandes (flóculos), que se sedimentan rápidamente.	Masa de coagulante	Masa 1= 1.5 Masa 2 = 5	Gramos (g)	
			Tiempo de contacto	Tiempo 1 = 2 Tiempo 2 = 3	Horas (h)	
			pH	pH = 7 pH = 9	Unidimensional	
Variable dependiente	Concentración de plomo	Según la tabla actual, el plomo es un elemento químico de la tabla periódica, cuyo símbolo es Pb y su número atómico es 82.	La remoción de plomo será medida teniendo en cuenta la concentración final del plomo	Porcentaje de remoción de plomo	Concentración final de plomo	Porcentaje

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Carranza [6] evaluó dos tecnologías para remover plomo y arsénico en agua, de tal manera que esta sea apta para el consumo humano. Estas tecnologías fueron la unidad de tratamiento con dos cubetas y el método de remoción asistido por la luz solar (RAOS). Ambas tecnologías se basaron en la propiedad coaguladora del hidróxido de hierro III, el cual retiene las partículas del arsénico y plomo por absorción-floculación. Para la formación del coagulante, el investigador utilizó clavos de hierro de una pulgada en contacto con agua destilada en periodos diferentes de tiempos. Las muestras de 1 ppm se trabajaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencia Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Para la remoción de plomo, los resultados de remoción por el método RAOS fueron de 99.98 % y por el método de unidad de tratamiento con dos cubetas fue de 99.92 %. Para el caso de remoción del arsénico, el porcentaje de remoción por el método RAOS fue de 81.5 % y para el método de unidad de tratamiento con dos cubetas fue de 83.5 %. Finalmente, concluyó que con ambos métodos hay una reducción del plomo. El resultado final para este metal estuvo por debajo del límite establecido por la normativa obligatoria para agua potable NSO 13.07.01:08; sin embargo, para el arsénico, no se logró tener valores menores a dicha normativa.

Toledo [7] elaboró un tratamiento sencillo: el método de Remoción de Arsénico por Oxidación Solar, RAOS, utilizando alambres de hierro N° 16 y jugo de limón, variedad sutil. Las pruebas experimentales se realizaron con aguas sintéticas que tenían un pH de 6,7 y una concentración de arsénico de 0,2 mg/l. Los resultados evidencian una reducción de hasta un 98,5 % de arsénico total bajo una irradiación solar promedio de 612,1 W-h/m<sup>2</sup> en 6 horas. Para el tratamiento de un litro de agua, se empleó 6 gramos de alambre de hierro N° 16 y 1,3 ml de jugo de limón de la variedad Citrus aurantifolia swingle. Las pruebas de campo se llevaron a cabo en la región Apurímac con las aguas del río Iscahuaca-Colcabamba que contenían 0,05 mg/L de arsénico. Después de la

implementación del tratamiento, se logró reducir el 88 % de arsénico total bajo una irradiación solar 2 promedio de 586 W-h/m<sup>2</sup>. Los resultados muestran que el método RAOS es eficiente en el tratamiento de agua para consumo humano.

Pang [8] evaluó las concentraciones de metales pesados en las aguas residuales sintéticas que varían de 1 a 14 mg/l para Pb, 5 a 90 mg/l para Zn, 3 a 90 mg/l para Cu y 5 a 45 mg/l para Fe. Individualmente, el Zn (II) y el Cu (II) con concentraciones inferiores a 90 mg/l y Fe (III) con concentraciones inferiores a 45 mg/l se eliminaron hasta el 99 % mediante el método de precipitación en el rango de pH de 8,7 a 9,6; de 8,1 a 11,1 y 6,2 a 7,1 respectivamente. Aunque el porcentaje más alto de eliminación de Pb (II) por la precipitación de hidróxido solo fue de aproximadamente el 98 %, las concentraciones finales disueltas no cumplieron con el límite de descarga estándar A, requerido por las reglamentaciones, por lo que se realizó un tratamiento adicional mediante el proceso de coagulación-floculación. El sulfato de aluminio (alumbre), el cloruro de polialuminio (PACl) y el cloruro de magnesio (MgCl<sub>2</sub>) se han utilizado como coagulantes junto con Koaret PA 3230 como coagulante para determinar la efectividad del método de coagulación para la eliminación de metales pesados individuales en las aguas residuales. Asimismo, se investigó los efectos de parámetros como el pH, el tipo y la dosis de coagulante en el porcentaje de remoción de metal y la masa de coagulante en el tiempo de sedimentación de los flóculos. La prueba de jarra mostró que se logró “una eliminación de Pb (II) de hasta el 99 % mediante la adición de 1,200 mg/l de alumbre, 150 mg/l de PACl y 2,000 mg/l de MgCl<sub>2</sub> en un rango de pH de 6,5 a 7,8; 8,1 a 8,9 y 9,7 a 10,9, respectivamente” [8].

Pang [9] utilizó sulfato de aluminio (alumbre), cloruro de polialuminio (PACl) y cloruro de magnesio (MgCl<sub>2</sub>) como coagulantes con Koaret PA 3230 como polielectrolito para determinar la efectividad del método de coagulación para la eliminación de metales pesados (Pb, Zn y Fe). “La eliminación máxima de Pb (II) se observó en diferentes rangos de pH distintivos: 6,2–7,8 para alumbre, 8,0–9,3 para PACl y 8,7–10,9 para MgCl<sub>2</sub>, independientemente de los tipos de solución. El PACl es el más efectivo entre los coagulantes utilizados en este estudio. La dosis de coagulante requerida para lograr una eliminación de más del 99 % en las soluciones mixtas que contenían Pb (II) y Zn (II) aumentó con las concentraciones iniciales de Zn (II), mientras que, la presencia de 25-45 mg/L de

Fe ( III) en las soluciones mixtas que contienen Pb (II) y Fe (III) redujo la dosis de coagulante utilizada para la eliminación de Pb (II) en más del 99 %. Las concentraciones de Zn (II) y Fe (III) en las soluciones mixtas estuvieron siempre por debajo de los límites de descarga estándar. El tiempo de sedimentación de los flóculos se redujo mediante la adición de coagulante y el tiempo de sedimentación de los flóculos se encontró en la secuencia de  $MgCl_2 > PACI$  alumbre”.

Lara [10] empleó el sulfato de aluminio, cloruro férrico y quitosan para eliminar la turbiedad, color y COT en aguas naturales utilizadas para la limpieza de las ubres de los ganados y sus utensilios. También evaluó la eliminación de los metales como el cobre, cobalto y zinc encontrados frecuentemente en aguas naturales de algunas regiones de Colombia. Para esto, empleó el proceso de coagulación por barrido para mejorar la eficiencia de eliminación. El cloruro férrico resultó ser un coagulante efectivo para eliminar la turbiedad, color y COT con porcentajes mayores a 70 % y dosis de coagulante de 60 mg/l. Para la eliminación de metales, las dosis fueron de 235 mg/l y 500 mg/l para el sulfato de aluminio, de 300 mg/l y 510 mg/l para el cloruro férrico. Los resultados evidencian que se logró porcentajes por encima de 80 % de eliminación para la mayoría de metales presentes en las muestras de agua. Asimismo, muestran que el quitosan no presentó grandes eficiencias de eliminación, comparado con los otros coagulantes.

Bora [11] expuso que, para la para la eliminación de ciertos elementos como Cd, Pb, Ni, Cr, Cu y Co por oxidación-coagulación-adsorción a pH optimizado (OCOP), se ha estudiado un método eficiente y de bajo costo para la eliminación simultánea de As, Fe y Mn de las aguas subterráneas.  $NaHCO_3$ ,  $KMnO_4$  y  $FeCl_3$  se utilizan en OCOP como acondicionador de pH, oxidante y coagulante, respectivamente. Se encuentra que la eliminación de los metales elegidos de la concentración inicial de 2 mg/l por el método aumenta en el orden Cd (79,0 %) << Co (94,8 %) < Ni (94,4 %) << Cu (98,0 %) < Cr (98,3 %) < Pb (99,5). El absorbente altamente activo coagula/precipita formado en  $FeOOH$ ,  $5Fe_2O_3 \cdot 9H_2O$ ,  $MnO_2$  y  $Mn_3O_4$ . También adsorben fuertemente otros metales además de la eliminación por precipitaciones de oxi-complejos en casos de Cd y Pb. El presente estudio mostró que el método OCOP es capaz de remover muy

bien los metales pesados como Cd, Pb, Ni, Cr, Cu y Co, además de remover eficientemente As, Fe y Mn del agua.

Deng [12] señaló que un método sencillo para eliminar los metales pesados del agua es por absorción. De esta manera, se utilizó los bigotes de titanato de potasio, los cuales constituyeron un método eficaz para remover por absorción metales pesados en aguas residuales. Con el método de fase sólida mejorada, se obtuvo los filamentos de titanato de potasio. Se estudio la cinética de reacción, isoterma de absorción, absorción competitiva y el rendimiento de regeneración de los cationes Pb(II), Cd(II) y Cu(II). La masa máxima absorbida durante este proceso para Pb(II), Cd(II) y Cu(II) fue de 319 mg/g, 247 mg/g y 185 mg/g respectivamente, lo que demostró tener una buena cinética a segundo orden. Las isotermas se explicaron mediante el modelo de Freundlich. En esta investigación, también se demostró que los poros de 4-PTW son áreas de absorción de importancia, y los resultados tanto de XRD y XPS dieron que la estructura de la capa de  $K_2Ti_4O_9$  permite un intercambio de cationes K(I) con los cationes de los metales pesados. El autor concluyó que los cationes de metales pesados con un radio pequeño y una fuerte electronegatividad son más fáciles de capturar. Con un proceso de reciclaje de hasta 5 ciclos, se obtuvo una eficiencia de remoción del 70 %.

Xuefeng [13] evaluó tres floculantes magnéticos con diferente grupos quelantes y modificaciones. El floculante de Fe fue modificado con carboximetilquitosano (MC), el floculante de carboximetilquitosano injertado con acrilamina (MCM) y carboximetilquitosano magnético injertado con copoliacrilamida de ácido de 2-acrilamina-2-metilpropanosulfónico. Todos fueron preparados, sintetizados y caracterizados por fotopolimerización, y luego fueron utilizados para la eliminación de Cr(III), Co(II) y Pb(II). Los resultados de la cauterización dieron que los tres floculantes basados en carboximetilquitosano magnético fueron correctamente preparados. Esto mostró tasas de eliminación de MC, MCM y MCAA en Cr(III), Co(II) y Pb(II). En Cr(III), son 51.79 %, 82.33 % y 91.42 % respectivamente en condiciones de 80 mg/l de floculante a pH 6, tiempo de retención de 1.5 h, valor de G de  $200 s^{-1}$  y una fuerza de campo magnético de 120Mt. En Co(II), por MC, MCM y MCAA, son 54.33 %, 84.99 % y 90.49 % respectivamente. Para Pb(II), por MC, MCM y MCAA, obtuvieron tasas de eliminación 61.54 %, 91.32 % y 95.74 %. Con estos resultados, se llegó a la

conclusión de que el floculante magnético a base de carboximetilquitosano muestra una gran eficiencia para metales pesados, además de ser un floculante de bajo.

Wei [14] analizó la efectividad de los lodos de alumbre para remover el plomo metálico de las aguas residuales. Para que tengan un proceso rentable, analizó los rangos de pH, los cuales van a depender del proceso de regeneración del aluminio en la etapa posterior; en caso de esperar una regeneración, se estima que el pH es de 11.6 para optimizar tanto la regeneración de aluminio como la eliminación de plomo. El hidróxido de plomo también fue evaluado (coprecipitado de aluminio) en condiciones alcalinas. Con el uso de lodo de alumbre reciclado (RAS) en la coagulación, los porcentajes de eliminación de plomo fueron de 79 % al 96 % con 100 mg/l de RAS. Para la alumbre fresca, se redujo de 175 mg/l a 50-12.5 mg/l; sino se le agrega alumbre fresco al sistema, el RAS puede eliminar hasta el 94 % de plomo, lo que muestra que el barrido-floc es crucial para la reutilización de lodos, pero es opcional, ya que no es necesaria la regeneración de aluminio. El pH analizado sí debió ser menor a 10.5 para reducir los costos de los químicos utilizados.

Zhan [15] diseñó un método para tratar las aguas residuales que contienen contaminantes, usando las propiedades de la goma guar. Este es un polisacárido utilizado para eliminar el  $Pb^{2+}$  de las aguas turbias que contienen caolita; la goma guar fue extraída de la semilla del arbusto *Cyamopsis tetragonoloba* (guaran); también estudió la legumbre de potasio como coagulante inorgánico usado comúnmente para eliminar los iones de  $Pb^{2+}$  y así comprobar la eficiencia en comparación con el biopolímero. Los resultados mostraron que la goma guar puede remover el 83 % a una concentración inicial de plomo de 15 mg/l. Para analizar el mecanismo de eliminación del guar, se utilizó la metodología de superficie de respuesta, mediante la medición de potencial zeta y FTIR de agregados. Los resultados mostraron que los picos de absorción de FTIR a  $3618.79\text{ cm}^{-1}$  en los flóculos muestran enlaces de hidrógeno entre  $Pb^{2+}$  y goma guar. La caracterización de la goma guar con la micrografía SEM muestra flóculos compactos y bien formados. También, a partir del análisis físicoquímico, se conoció que la goma guar no es tóxica y es biodegradable; asimismo, se concluyó que la masa óptima de uso del biopolímero está en el rango de 1.25 mg/l en el aspecto financiero.

Ibarra [16] evaluó las pectinas (macromoléculas lineales) con grupos carboxilato y metoxilato, y su funcionalidad como coagulante-floculante. También, esperó que actúen como agentes quelante que favorezcan al atrapamiento de los metales pesados. El objetivo principal de su investigación fue tratar las aguas residuales sintéticas que fueron contaminadas con iones metálicos. Para ello, primero, se caracterizó por FT-IR y RMN. Su peso molecular se aproximó por viscosimetría. Para determinar la carga superficial de la macromolécula, se hizo mediciones de potencial zeta y también se analizó su capacidad de eliminar iones metálicos ( $Ca^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  y  $Cd^{2+}$ ). Con la caracterización completa, se obtuvo una dosis adecuada de pectina en SWW, lo que dio como resultado una dosis óptima de 0.019 mg/ml que removió el 99.99 % de todos los iones metálicos.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Marticorena [17] tuvo como objetivo principal determinar la influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo de una solución acuosa. Para ello, realizó la preparación de la solución acuosa de plomo a 5 ppm, el cual fue tratado por el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, utilizando el equipo de prueba de jarras. Los coagulantes utilizados fueron el Coagulante natural del Huaraco (*Opuntia floccosa*) y el Coagulante sintético Policloruro de Aluminio. Las concentraciones de los coagulantes fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ppm respectivamente. Las condiciones de coagulación fueron establecidas con un tiempo de 5 min y 100 RPM. Para la floculación, fueron con un tiempo de 20 min y 50 RPM. Una vez concluidos estos procesos, se realizó la sedimentación por un tiempo de 30 min. De los resultados, el mejor tratamiento, estadísticamente, es el tratamiento Policloruro de aluminio, 20 ppm, con una remoción de plomo de 88,36 %, seguido del tratamiento *Opuntia floccosa*, 30 ppm, con una remoción de plomo de 73,41 %. Después del análisis, el autor llega a la conclusión de que sí existe influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo.

Contreras [18] tuvo como objetivo remover el plomo de las aguas del efluente minero Yauli- Oroya. Para ello, utilizó el coagulante de Maguey (*Agave Americana* L.) a nivel de laboratorio. Este coagulante, por ser natural, no se puede conseguir en el mercado; por ende, fue necesario iniciar la investigación

con la obtención del Coagulante de Maguey (Agave Americana L.). Para ello, se emplearon las siguientes operaciones secuenciales: secado, molido, tamizado, extracción de pigmentos, maceración, filtración del gel obtenido y liofilización. Una vez obtenido el Coagulante, se procedió con el tratamiento del efluente minero a nivel de laboratorio utilizando el equipo de Pruebas de Jarras. Con los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que, mediante el método de Prueba de Jarras, se pudo remover el plomo de las aguas del efluente con valores que fluctúan desde 0.0389 a 0.0102 mg/l. Asimismo, se observa que 97.15 % es el mayor porcentaje de remoción que se puede obtener en esta investigación.

Cárdenas [19], en su tesis, estudia la capacidad de bioadsorción de plomo de aguas contaminadas empleando el *Pennisetum Clandestinum Hochst* (Kikuyo) como adsorbente a nivel laboratorio. Trató 254 g de muestra de kikuyo que fue obtenida de los alrededores de la Universidad Nacional del Centro del Perú; realizó procesos de hidrólisis ácida y alcalina para incrementar la fibra celulósica del kikuyo y obtuvo un rendimiento total de hidrólisis de 22,86 %. La metodología consistió en preparar soluciones sintéticas de plomo divalente basado en agua de mina. Su análisis marcó 11,804 ppm de plomo total por lo que decidió preparar una solución más concentrada de 20 ppm. Los valores óptimos son un pH 6, velocidad de agitación 50 rpm (ve), dosis de adsorbente de 0,05 g (Do). Estos valores representan una capacidad de bioadsorción de 85,6382 mg/g y 91,18 % de remoción del metal en la solución.

Huaman [20] busca adsorber Cd, Pb y Zn mediante la utilización de la biomasa obtenida de la sábila (Aloe Vera) en soluciones acuosas. Se realizó la metodología para la determinación de metales presentes de la biomasa; paralelamente, se preparó las soluciones patrones de Cd, Pb y Zn a 230 ppm. Luego, se procedió a la inmovilización de la biomasa para, finalmente, aplicar el método de adsorción y el mecanismo de adsorción (isoterma de Langmuir y Freundlich). Se determinó el contenido de Cd, Pb y Zn presentes en la sábila (Aloe Vera) mediante la espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados, en promedio, fueron de  $< 0,006 \text{ mg/kg}$  para el Cd,  $0,164 \text{ mg/kg}$  para el Pb y  $0,6955 \text{ mg/kg}$  para el Zn. El porcentaje de adsorción de los metales Cd, Pb y Zn, mediante la utilización de la biomasa para el cadmio, fue de 81,07 %, lo que representó el mayor porcentaje de adsorción. Para el plomo fue de 72,98 %

y para el zinc fue de 65,93 %, lo que representó el menor porcentaje de adsorción. De esta manera, se demostró que la sábila (Aloe Vera) tiene la capacidad de adsorber metales. El mecanismo de adsorción se logró mediante la capacidad de bioadsorción del adsorbente que fue determinada en función de las concentraciones en equilibrio de las soluciones de los metales Cd, Pb y Zn, por separado a pH 4 y 5.

Maltano [21] determinó la eficacia de un Humedal Artificial de Flujo Sub Superficial (HAFSS) con macrofitas como medio vegetal para la depuración de los metales pesados, zinc, plomo y cadmio, presentes en agua de consumo humano. Se utilizó un método experimental, para lo cual se construyó un HAFSS de material de vidrio con material filtrante confitillo (gravilla fina) y totoras. La unidad fue sometida a un suministro continuo de una mezcla de soluciones que contenían Zn, Pb y Cr disueltos almacenados de dos tanques de 80 l. Se comprobó que la exposición prolongada de altas concentraciones de los metales pesados provoca necrosis en las plantas, lo que inutiliza la unidad. Además, en concentraciones por debajo de 5mg/l, las plantas logran subsistir y depurar el agua con una eficacia de 87.69 %, 86.64 % y 93.55 % para el zinc, cadmio y plomo, respectivamente. Asimismo, se verificó que la temperatura es un parámetro condicionante de la constante K de reacción, la que se logró hallar por medio de mínimos cuadrados. En el caso del zinc, se obtuvo que el K20 fue 1.866; para el cadmio, fue 1.915 y para el plomo fue 1.879. Al ser valores representativos, se pudo promediar para obtener un valor único de K20 para metales igual a 1.889.

Pinillos [22] analizó el efluente de la mina Marcapunta Oeste. Encontró agua ácida que contenía 5,0 Unidades de pH, con alto contenido de sólidos totales suspendidos en una cantidad de 240mg/l: 1,852 mg/l arsénico, 13,52 mg/l de cobre, 59,25 mg/l de hierro y 0.296 mg/l de plomo. El investigador señala que, antes de la investigación, este efluente se trataba adicionando lechada de cal, sulfuro de sodio y floculante. Por ello, Pinillos [22] desarrolla una alternativa técnica, ambiental económica, que permite la remoción de los metales pesados del efluente aplicando el método de oxidación, adición de cal y floculante y se añade, además, al proceso floculante. En los resultados, se obtuvo los valores siguientes: pH 7,06 Unidades, sólidos totales suspendidos 25,9 mg/l, hierro 0,74 mg/l, cobre 0,076 mg/l, arsénico 0,048 mg/l y plomo 0,095 mg/ (ver tabla 15).

Estos valores son inferiores a lo establecido en el D.S. 010-2010-MINAM. Además, se logró una eficiencia de remoción mayor al 90 %.

Salas [23] aborda el estudio del proceso de bioadsorción para la eliminación de metales pesados:  $Pb^{+2}$  y  $Fe^{+2}$ , presentes en efluentes del laboratorio químico de Southern Perú. Para ello, utiliza la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*) residual del proceso de obtención de jugo; evalúa la capacidad de adsorción ( $Q_e$ ) y % de remoción (% R). Se determinó que el pH óptimo para la remoción de ambos metales fue de 5.0 para muestras sintéticas y 6.0 para muestras reales. El tamaño de la partícula del bioadsorbente fue de 0.8 mm. Después del análisis, se demostró que, al aumentar la fuerza iónica y la temperatura, la  $Q_e$  y el % R aumentaron. La capacidad máxima de bioadsorción predichas por el modelo de Langmuir fue de 1.35 mg/g para muestras reales. Con todo ello, se concluye que la cáscara de naranja *Citrus Sinensis* es un bioadsorbente con alta capacidad de remoción de plomo y fierro.

Moreno [24] seleccionó una cepa para que sirva como bioabsorbente microbiano. Para ello, reactivó 122 cepas aisladas en ambiente minero, a las que se les probó la resistencia a metales pesados, velocidad de crecimiento y capacidad de producción de biomasa. Sobre la base de estos parámetros, se seleccionó la cepa de *Serratia marcescens* M8A-2T para optimizar los parámetros físicoquímicos de remoción de cadmio y plomo, la naturaleza física y genética de la resistencia, así como la confirmación de la identificación de la cepa empleando el gen del RNAr 16S. Se obtuvo 27 cepas resistentes a metales pesados; 2 cepas resistieron hasta 80000 ppm de zinc, 20 cepas a 16 000 ppm de níquel, 1 cepa a 36 000 ppm de cromo, 23 cepas a 800 ppm de cadmio y 80 cepas a 32 000 ppm de plomo. *S. marcescens* no presentó plásmidos en la electroforesis en gel de agarosa y en la microscopía electrónica de transmisión se pudo observar que el metal se adhería a la superficie bacteriana; por lo tanto, el proceso de remoción es de bioadsorción. La biomasa logró remover 99,97 % de cadmio a pH 3 y 96 % de plomo a pH 7, después de 60 minutos de enfrentamiento con 100 ppm de cada uno de los metales. La remoción fue independiente de la concentración inicial de metal y operó muy bien con biomasa de granulometría menor a 50  $\mu m$  y 1 mg/ml de concentración. Para conocer la máxima capacidad de retención ( $Q_{max}$ ), se usaron las isotermas de Langmuir y se obtuvo como resultado que la cepa en estudio tiene un  $Q_{max}$  de 417 mg de

cadmio / g y de 357 mg de plomo / g, en 15 minutos, y se ajustó en 98,3 % al modelo de Langmuir. Estos resultados indican que la cepa es apta para ser empleada en los procesos de bioadsorción de cadmio y plomo y que el proceso está optimizado para su escalamiento a nivel piloto.

Chira [25] tuvo como objetivo determinar el impacto de los metales pesados del río Mantaro en la aptitud de los suelos agrícolas, que se conectan a su paso con la Refinería de La Oroya, del sector Jauja - Huancayo, Junín 2020. En esta área, se ubican pasivos ambientales mineros que impactan negativamente en el ecosistema. Las aguas de este río son utilizadas para el riego de cultivos de la zona adyacente a la cuenca del Mantaro en el sector en mención. A partir de la identificación de los suelos más impactados negativamente por plomo, se realizó un análisis de extracción secuencial de 25 muestras y se aplicó el método BCR1, con estadística multivariada. Se determinó la relación directa de los contenidos de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn, Cu) en agua y suelo; además, se identificó los lugares en los que el impacto negativo fue de mayor dimensión, como el caso de las localidades de Muqui y Muquiyauyo.

Ascon [26] construyó un reactor de electrocoagulación para evaluar su eficiencia en la remoción de DQO en las aguas residuales provenientes de una industria textilera, las que contienen ciertos metales como el plomo en la tinta de la tela. También, tuvo en cuenta las condiciones de pH, conductividad, intensidad de corriente y tiempo de tratamiento. Como resultado, obtuvo una eficiencia de tratamiento por electrocoagulación de 87 % en la remoción de DQO, valor de intensidad de corriente de 5 A, pH de 7.12 y un tiempo de retención de 15 minutos. Todos estos valores cumplen con la normativa ambiental vigente de límites máximos permisibles. Otro aspecto evaluado en el tratamiento fue la acidez de lodo producido. Según los análisis, se obtuvo un lodo más compacto.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Calidad del agua**

En la asamblea nacional de las Naciones Unidas, el 28 de Julio del 2010, se reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento. Asimismo, se reafirmó que un agua potable y saneamiento son esenciales para realizar todos los derechos humanos.[27]

El agua es vital en las actividades de las personas, ya que esta, aparte de servir para el consumo, es necesaria en la preparación de alimentos, aseo personal, entre otros fines hogareños. El agua destinada para el consumo humano debe cumplir ciertos parámetros de calidad en el aspecto microbiológico, físico y químico, de tal manera que no resulte peligrosa para la salud de las personas; estas regulaciones son establecidas por cada país. Pese a que las aguas para este fin son extraídas de pozos acuíferos de calidad o manantiales cristalinos, siempre presentan contaminantes. Dado que son para el consumo humano, deben ser sometidas a tratamiento para la eliminación de sustancias disueltas o no disueltas y de microorganismos dañinos para la salud. [28]

### **2.2.2. Calidad química del agua**

El agua es el componente que más relevancia tiene en el organismo de los seres vivos, tanto para las personas como para animales y plantas. Además, influye en diversos procesos biológicos y químicos que se dan en el ambiente natural debido a que presenta compuestos orgánicos e inorgánicos y características fisicoquímicas que la convierten en una molécula bipolar capaz de realizar dichos procesos.

El agua es considerada un disolvente universal. La gran mayoría de sustancias que se ponen en contacto con ella, tanto líquidos, sólidos o gaseosos, son disueltas eficazmente formando iones, moléculas polares, complejos tanto solubles como insolubles, entre otros. [29]

Los cuerpos de agua integran en ella parte de los agentes con los que estuvo en contacto como suelo, aire, plantas, subsuelo, entre otras, y puede ser tanto por arrastre como por disolución. Sin embargo, en los mencionados agentes, también existen microorganismos al igual que en el agua y estos, al interrelacionarse, sueltan diversas sustancias que influyen en su composición química. Los factores que pueden afectar la composición química del agua son las características de los suelos recorridos, la concentración de los gases disueltos, entre otros. [30]

Generalmente, los componentes que se encuentran en las aguas naturales son sulfatos, nitratos, carbonatos y bicarbonatos, los más comunes. También, están presentes elementos fosfatados, algunos metales, silicatos, nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno. Esta composición suele alterarse debido a la introducción

de elementos dañinos como metales pesados o compuestos ácidos que modifican su concentración, producto de los vertidos de aguas residuales, el arrastre de los suelos contaminados con productos químicos agrícolas o por los vertidos líquidos mineros. [31]

El agua también es esencial para que el organismo de las personas pueda realizar con total normalidad sus procesos biológicos y químicos; ayuda a eliminar sustancias dañinas mediante el sudor o la orina. Pero, a través de los procesos mencionados, se pueden transportar también sustancias peligrosas que causan alteraciones en los sistemas y órganos. [32]

### **2.2.3. Presencia de metales en las fuentes de agua**

Pese a la gran relevancia de los metales pesados en los procesos industriales, estos representan un peligro para la vida marina y para las personas porque dañan las masas de agua y a la naturaleza. La acumulación de estos elementos se produce mayormente en sedimentos ribereños que se convierten en fuentes secundarias contaminantes de este recurso hídrico. Por tal motivo, se hace necesaria la valoración de concentración de metales pesados en el agua como una herramienta que permita la investigación de la fuente de estos contaminantes en el medio acuático y así también poder predecir las alteraciones que podría ocasionar. [33]

Dado que cada vez más y, en mayor frecuencia, las masas de agua son usadas como cuerpo receptor de efluentes domésticos e industriales y los principales contaminadores son las grandes ciudades del continente, el nivel de contaminación de este importante recurso hídrico está aumentando de manera exponencial, lo que altera la calidad de las aguas. Cuando el nivel de contaminación es excesivo, se hace difícil y costoso el tratamiento para potabilizar estas aguas, en el caso de que sean para el consumo humano. [34]

Entre los metales pesados que contaminan las aguas y alteran el ciclo de vida de diversos seres vivos y especies, se puede nombrar al cromo, mercurio, cadmio, arsénico y plomo. Estos son producto, principalmente, de la concentración de minerales, de procesos industriales, de la utilización de plaguicidas y de los reciclados de baterías de plomo. Para poder elegir una óptima fuente de agua para las diversas actividades humanas, es relevante conocer, primero, las propiedades biológicas, físicas y químicas de este recurso debido a

la masa de contaminantes, la velocidad con la que se incorporan los agentes tóxicos y los niveles de daño que pueden causar. [29]

#### 2.2.4. Origen del uso del plomo

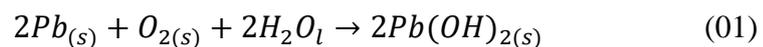
Los egipcios fueron los primeros en conocer el plomo, hierro y plata; luego, en China e India empezaron a fundir el plomo cuatro siglos antes de Cristo. El trabajo conjunto entre el plomo y la plata en su estado natural en Argentina; en Asia, se obtenía el plomo y plata por tostación, agregando carbón de leña. Este actuaba como combustible y reductor. La lejía obtenida se sometía a copelación, en donde se recuperaba la plata y, de forma secundaria, el plomo.

En Roma, el plomo ocupaba una gran importancia por su uso en el aspecto tecnológico. Con este, se fabricaban varitas para escribir, vasijas, tubos para desplazar el agua y papel blanco; pero, también, se experimentaron las primeras perturbaciones al medio ambiente.

En el Perú, en la época colonial, se produjo la explotación minera de metales preciosos y se le dio poca importancia al plomo; sin embargo, existen grandes yacimientos en los departamentos de Pasco, Huancavelica y Junín. La galena (sulfuro de plomo) era llevada a la refinería de la Oroya y dejaba residuos de azufre y plomo, ambos muy contaminantes, que provocaron daños al medio ambiente y enfermedades a las personas.[35]

#### 2.2.5. Química del plomo en el agua

En condiciones ambientales, no existe reacción entre el plomo y el agua; pero, si el plomo entra en contacto con el aire húmedo, es entonces cuando la reactividad con el agua incrementa. El plomo se encuentra, en mayor medida, como óxido de plomo (PbO). Constituye una pequeña capa en la superficie del metal que, al combinarse con el oxígeno y agua presentes en el ambiente, se transforma en hidróxido de plomo  $Pb(OH)_2$ . [36]



En condiciones estándar de temperatura 20°C y 1 atmósfera de presión, no es posible la disolución del plomo; pero, cuando se encuentra formando compuestos como el carbonato plúmbico ( $Pb(CO_3)_2$ ) o el carbonato plumboso ( $PbCO_3$ ) sí es posible la reacción. Generalmente, los elementos que contienen

plomo son solubles en agua con una acidez mínima y en aguas blandas; sin embargo, cuando el plomo forma compuestos sulfurados ( $S^{2-}$ ) o fosfatados ( $PO_4^{3-}$ ), es totalmente insoluble y se encuentra en la naturaleza constituyendo compuestos inertes o estáticos. [37]

Los compuestos formados con este metal que tienen baja solubilidad son adsorbidos por los suelos y también por las masas de agua como pequeñas partículas. Sin embargo, los compuestos que presentan alta solubilidad en el agua casi no pueden ser adsorbidos por los suelos y, en ese caso, esos elementos de plomo son acarreados hacia los cuerpos de agua como ríos, lagunas, arroyos, etc. La capacidad de disolución del plomo también es afectada por el pH del agua: agua con mayor concentración de sales disueltas al presentar solubilidad de 30ug/l y agua blanda con mínima concentración de sales disueltas al presentar solubilidad de 500ug/l, ambas a pH superior a 5,4. En términos generales, sabiendo que el plomo forma complejos de mínima solubilidad, dado que constituye aniones en forma de sulfatos, carbonatos, fosfatos e hidróxidos, su contenido disuelto en el agua es mínimo. Se registraron valores para la disolución de plomo en el agua con una relación de 27:1 entre el plomo y los sólidos suspendidos. [38]

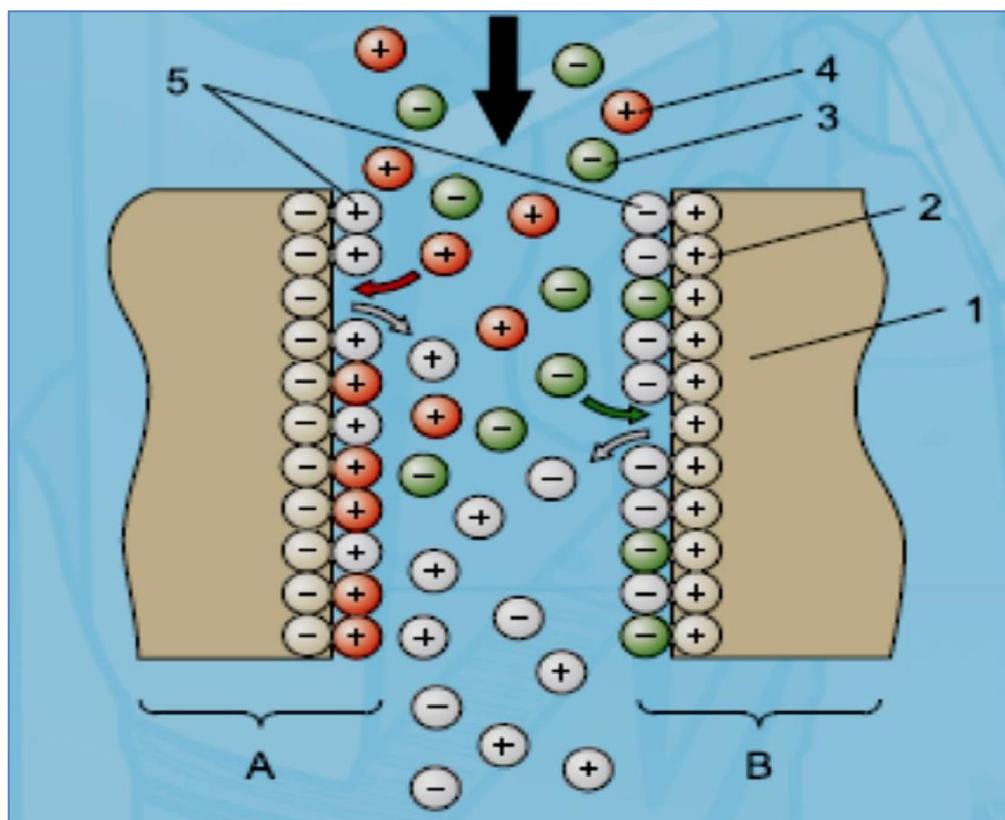
#### **2.2.6. Metodologías utilizadas para la remoción de metales pesados**

La distribución de los métodos para el tratamiento de los metales pesados presentes en las aguas generalmente industriales depende de diversas circunstancias y agentes. En este caso, se presentan las técnicas convencionales. Específicamente, se hace referencia a los métodos que asiduamente se utilizan para remover estos metales contaminantes. Entre los más empleados, está el tratamiento por intercambio iónico, el proceso de osmosis inversa, método de electrodeposición, método continuo de coagulación-floculación, entre otros. Muchas veces, estos métodos convencionales no son muy eficientes y resultan costosos cuando se aplican a metales con una concentración menor a 100mg/l (15). A continuación, se explica cada uno de los métodos mencionados.

##### **A. Intercambio iónico**

Es una técnica de división física en donde se da un intercambio de iones, sin que ocurran modificaciones químicas. El proceso consiste en la transferencia

de una masa limitada de iones disueltos en agua hacia una matriz con iones fijos. En esta etapa, se sueltan diferentes tipos de iones, pero que presenten la misma carga; mientras mayor sea la carga del ion, mayor será el enlace entre los iones y el intercambiador [39]. Dado que esta técnica depende de la concentración de los iones aparte de la carga de estos, favorece a su regeneración una vez terminado el intercambio. Esto permite el desplazamiento de un reducido grupo de iones de carga alta por un grupo numeroso de iones de menor carga. Para los intercambiadores con carga negativa (aniones), el intercambio se produce con álcalis. Para los intercambiadores con carga positiva (cationes), se producen con ácidos [40].



**Figura 1.** Representación del intercambio iónico en una matriz [40].

En donde:

A: “intercambiador de carga positiva (cationes)”.

B: “intercambiador de carga negativa (aniones)”.

1: “matriz”.

2: "iones ligándose estables".

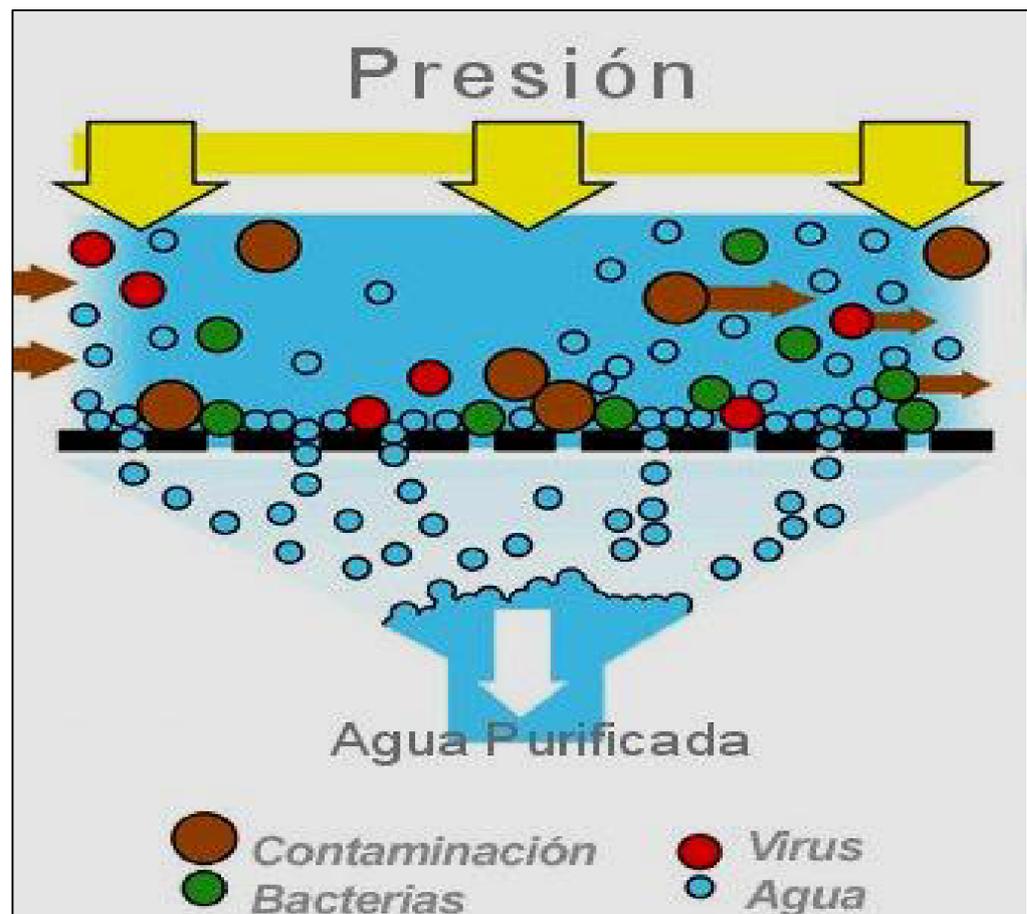
3: "iones de carga negativa".

4: "iones de carga positiva".

5: "contra-iones".

## B. Osmosis inversa

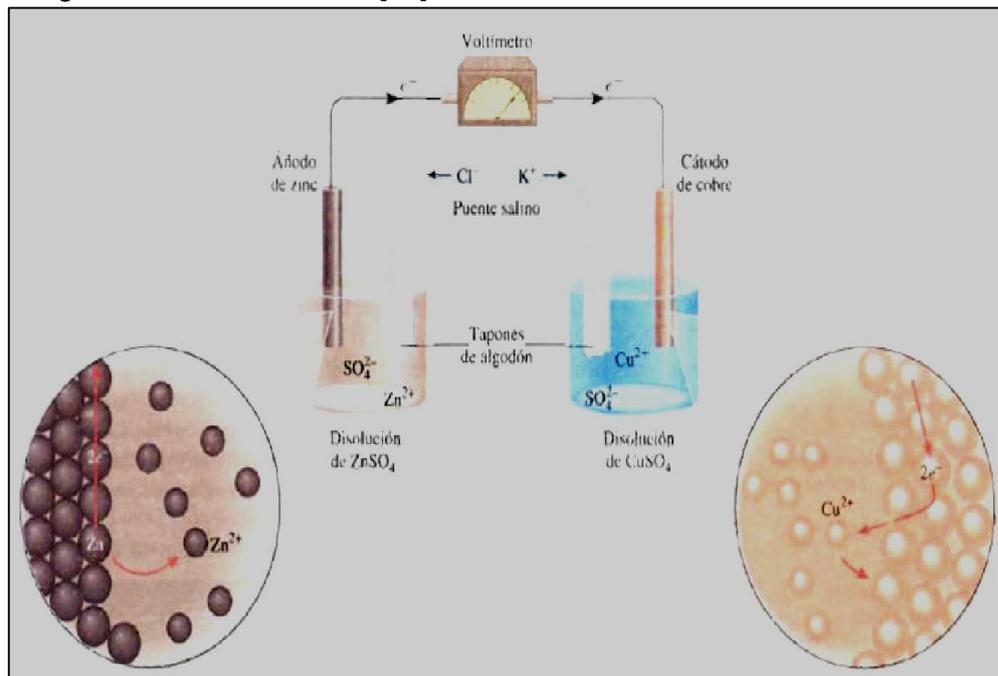
Es un proceso basado en el fenómeno de osmosis que se trata de una diferencia de presiones osmóticas entre el agua salada y agua pura con la finalidad de quitar las sales presentes en ella. En este proceso, un flujo de alimentación discurre bajo presión por una membrana semipermeable (del agua pura) separando las dos corrientes, una rica en sal y la otra pobre en sal [41]. A diferencia de los filtros conocidos, este método no aglomera los contaminantes y tiene una eficiencia del 98 % al 99 %, lo que se evidencia al eliminar material sólido disuelto y microorganismos [40].



**Figura 2.** Proceso de osmosis inversa [40].

### C. Electrodeposición

Es un mecanismo electroquímico de revestimiento, en el cual los iones positivos (cationes), que se encuentran formando compuestos disueltos en agua u otra sustancia, se adhieren a una lámina conductora. El recubrimiento de la lámina resulta de la precipitación de los cationes (iones positivos, metales) en la superficie de esta mediante la reducción de los mencionados iones en el exterior del cátodo. En este proceso, se usa como fuente de energía la corriente eléctrica [42].



**Figura 3.** Mecanismo de electrodeposición [42].

### D. Coagulación - floculación

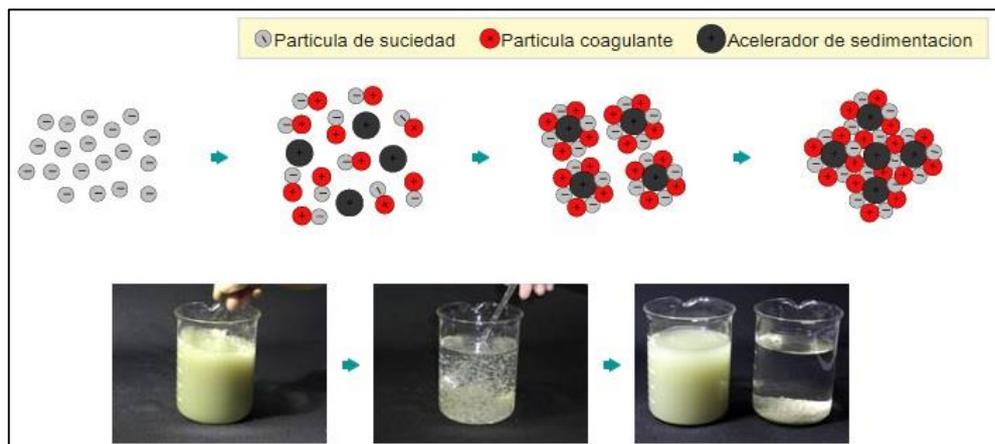
Este es un mecanismo utilizado, generalmente, para la potabilización del agua. A través de este, se eliminan los sólidos suspendidos mediante la desestabilización de la materia coloidal y posterior formación y sedimentación de flóculos. [43]

Los sólidos suspendidos provienen, en mayor medida, de algunos contaminantes como arcillas, arena y materia orgánica, lo que le da al agua un característico color oscuro y turbio. Este conjunto de partículas suspendidas tienen un tamaño muy pequeño, generalmente, medido en micras y, dadas las repulsiones electrostáticas entre ellas, hacen que

presenten buena consistencia, además de resistir cargas eléctricas de igual signo. [44]

La coagulación es definida como un proceso de desestabilización de la materia coloidal o suspendida. En el procedimiento, neutraliza su carga eléctrica y, de esta manera, permite la posterior aglomeración de partículas mediante fuerzas de van der Waals [45]. Los coagulantes más conocidos y eficientes que ayudan a este proceso son el cloruro férrico ( $FeCl_3$ ), sulfato férrico ( $Fe_2(SO_4)_3$ ) y sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) [46].

La floculación viene a ser un proceso de aglomeración de partículas donde se forman, en primer lugar, los microfloculos y, posteriormente, los floculos, que son las mismas partículas, pero en mayor tamaño. En este proceso, también se hace uso de los floculantes que favorecen la formación de los floculos y, generalmente, son polímeros inorgánicos (naturales o sintéticos). Así, al ser las partículas de mayor tamaño, la sedimentación resulta más fácil. [46]



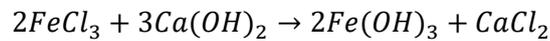
**Figura 4.** Desarrollo del proceso de coagulación/floculación [44].

A continuación, se explica los coagulantes más utilizados:

- **Cloruro férrico**

El cloruro férrico o cloruro de hierro (III) se produce por la oxidación del cloruro ferroso o cloruro de fierro (II), previa reacción entre el óxido de fierro y el ácido clorhídrico. Este compuesto es utilizado para la potabilización de agua para el consumo humano y en la remediación de aguas residuales.

Para la remoción de las partículas en suspensión, se produce una reacción exotérmica al añadir cloruro férrico al agua que presenta un carácter levemente básico y adecuadas cantidades de hidróxido de calcio. De esta manera, se forma el hidróxido férrico [46], como se verá en la siguiente reacción:

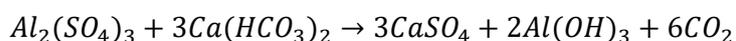


Este compuesto formado presenta carácter ácido y resulta ser corrosivo. Aparte de ser utilizado en los tratamientos tanto de agua residual como agua potable, también es útil para acondicionar lodos orgánicos en filtros antes de pasar a la deshidratación, y para la remoción de fósforo presente en aguas residuales. [47]

- **Sulfato de aluminio**

Este compuesto se produce debido a la reacción entre el ácido sulfúrico y el hidróxido de aluminio en determinadas condiciones. Es un floculante que posibilita la asociación del material suspendido. Forma partículas de mayor tamaño y fáciles de sedimentar y es utilizado, principalmente, en la potabilización del agua y tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales. En la industria textil, es usado como mordiente y, en los desodorantes, como un antitranspirante. [26]

Al añadir sulfato de aluminio a las aguas, se produce la desestabilización del material suspendido por los iones de aluminio ( $Al^{+3}$ ). Si el agua presenta un pH neutro o alcalino, se producirá la siguiente reacción en donde el hidróxido de aluminio que se precipita acarrea el material suspendido presente en el agua, lo que lo deja descontaminado. [48]



Comparando este compuesto con el sulfato férrico, la diferencia es que el sulfato férrico presenta un rango más amplio de uso. Es aplicado a un pH del agua entre 6 a 8,5 y, respecto al alumbre, este tiene un rango entre 7,2 a 7,5. [48]

## **E. Alcalinización**

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos; sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro,

silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad. Hay diversos factores que influyen en la alcalinidad de las aguas. Entre los más relevantes, se encuentran la temperatura, la misma composición del agua, las fuerzas iónicas que existen entre ellas y el potencial e hidrógeno (pH). La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica [49]. Generalmente, existe una prevalencia de aniones bicarbonatos al haber un equilibrio en el agua entre el ácido carbónico y los iones carbonato y bicarbonato. Por tal motivo, el agua puede presentar bajo pH y elevada alcalinidad o al contrario [50].

La alcalinidad es un parámetro que influye en el poder corrosivo del agua, además de que afecta el sabor si se presenta en concentraciones altas. Aparte de ello, la alcalinidad es relevante en el proceso de coagulación, dado que este reacciona con algunos coagulantes que se someten a hidrólisis como los sulfatos de aluminio o fierro.

La USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) menciona que un cuerpo de agua no debe de tener cambios significativos en la alcalinidad, dado que esto afectaría su calidad, ya que este parámetro está ligado a la dureza y al pH del agua.

El pH es uno de los parámetros influenciado por la alcalinidad, que, si bien no afecta a la salud directamente, determina el poder de corrosión de las aguas y es importante en el proceso de coagulación en la potabilización de aguas. Normalmente, el intervalo de pH de las aguas que no se encuentran contaminadas debe comprender intervalos entre 5 a 9. En el Perú, sobre la base de las normativas canadienses, se estableció un intervalo de 6,5 a 8,5 de pH para el agua de consumo humano, [2]

Los alcalinizantes más utilizados el óxido de calcio, cuya fórmula química es (CaO) y es conocida comercialmente como cal viva, virgen o dolomínica. También, está el hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), hidróxido de magnesio (Mg(OH)<sub>2</sub>) y óxido de magnesio (MgO), todas ellas en concentraciones aproximadas de 50 %. Los mencionados alcalinizantes presentan casi los mismos resultados de neutralización, teóricamente. [2]

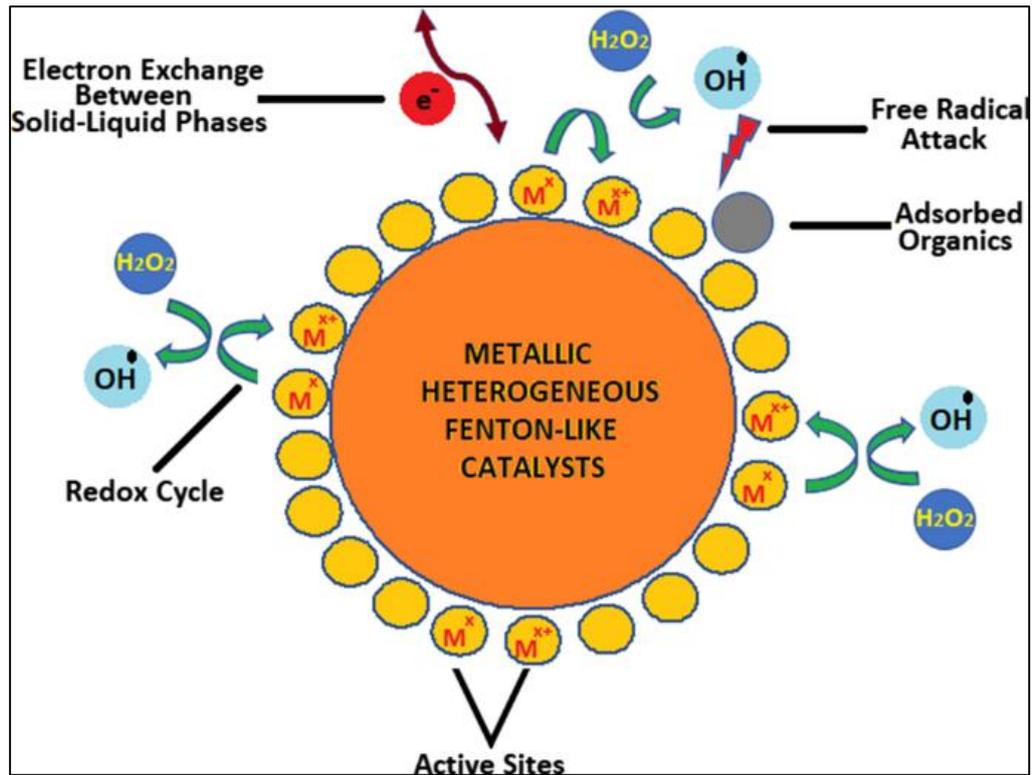
### 2.2.7. Unidad de tratamiento con dos cubetas

Este es un método tradicional que se basa en los principios físicoquímicos del tratamiento de agua, con los procesos de coagulación-floculación y sedimentación. El término unidad hace referencia a dos cubetas de 20 l de capacidad cada una, las cuales se colocan una encima de la otra y el agua contaminada es vertida en la cubeta superior, donde se realizan los procesos de coagulación-floculación. Para ello, se agrega un agente químico, que se compone de una combinación de un coagulante y un oxidante (ambos en polvo), en agitación constante y posterior sedimentación. Luego de que se hayan sedimentado las dos terceras partes del agua emergente, esta es vertida en la segunda cubeta, la que se encuentra previamente cargada con arena filtradora hasta la mitad de la cubeta. En la parte inferior externa de la segunda cubeta, se encuentra conectado un grifo por donde saldrá el agua libre de sedimentos después del tratamiento. La segunda cubeta, que contiene la arena como filtro, debe de ser cambiada al menos dos veces por semana; además, debe recibir mantenimiento de la unidad y de los parámetros que podrían afectar la calidad del agua, principalmente, el potencial de hidrógeno (pH) [6].

### 2.2.8. Remoción de metales pesados asistida por luz solar (RAOS)

Remoción de Arsénico por Oxidación Solar (RAOS) o *Solar Oxidative Removal of Arsénico* (SORAS) en inglés es un método muy simple y eficiente en la remoción de arsénico de aguas contaminadas con este metal. Este método se basa en la eliminación del metal mediante la formación de flóculos de hidróxido de fierro o aluminio que serán sometidos a irradiación solar y posterior filtración. Para lograr una remoción eficiente, el arsénico debe presentarse en forma de arseniato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ), más no en forma de arsenito ( $\text{AsO}_3^{3-}$ ) [51].

Caviedes et al [52] investigaron la remoción de metales pesados, entre ellos el plomo, por el método de oxidación solar. En sus resultados, mostraron una eficiencia del método superior a los 80 % en la remoción de plomo.

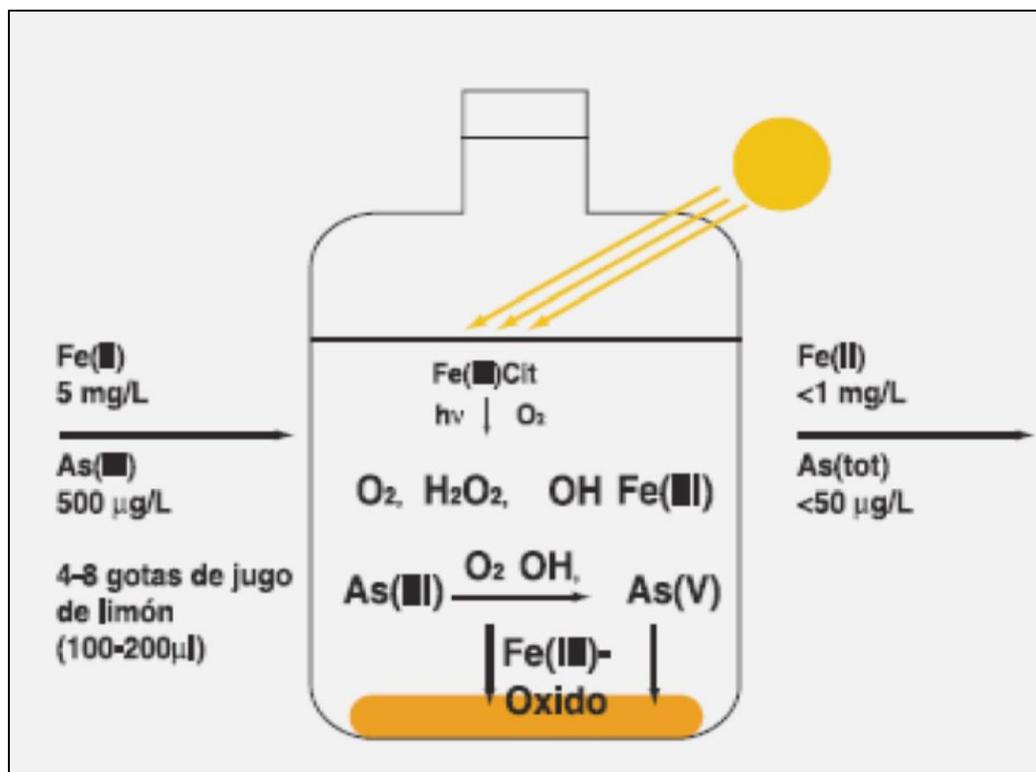


**Figura 5.** Remoción de metales pesados por el método RAOS. [53]

Este método forma flóculos de hidróxido de hierro en un medio cítrico en presencia de los rayos solares y el aire. La RAOS busca generar el flóculo de hidróxido de hierro por oxidación solar de sales de hierro en presencia de citrato y de aire. Las reacciones fotoquímicas que se presentan aparte de formar los flóculos de hidróxido de hierro, también fomentan la configuración de grupos activos capaces de oxidar el metal (arsénico), que será adsorbido por los flóculos [7]. El ácido cítrico puede ser el limón, que será agregado al agua que ya contiene partículas de hierro. Este proceso se produce en una botella de plástico expuesta a la luz solar por determinado tiempo. En las noches, los módulos de botella se ponen verticalmente para favorecer la floculación y posterior filtración o decantación del agua ya descontaminada. [34]

En la reacción, se produce la oxidación del metal; es decir, se pasa de un estado de oxidación (III) a un estado de oxidación (V) para el caso del arsénico, lo que forma complejos de citrato de hierro (III) en presencia de oxígeno y la luz solar. El metal de arsénico (V) es adsorbido por los flóculos de hidróxido de hierro que se forman al agregarle el ácido cítrico (jugo de limón) al agua y un compuesto de ferroso, por ejemplo, la sal de Mohr ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ). [54]

Este método es muy sencillo y nada costoso tanto en la ejecución como en el mantenimiento, solo demanda de mucha energía solar. Por ello, resulta más eficiente si es aplicado en lugares con alta incidencia de radiación, en un promedio de 3000 hrs de sol por año. Este método ha resultado muy eficiente en diferentes países, principalmente americanos, donde fue aplicado [34]



**Figura 6.** Remoción de contaminantes por el método RAOS. [34]

### 2.3. Definición de términos básicos

**Adsorción:** “se dice del proceso de separación de gases, líquidos, coloides o materia suspendida en un medio por adhesión a la superficie o a los poros de un material sólido”. [55]

**Ácido cítrico:** “es un compuesto ácido orgánico, cuya fórmula química es ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ), se lo puede encontrar en el limón o naranja y presenta un gran poder antioxidante por lo que suele ser usado como conservante de alimentos (E-330)”. [30]

**Agua superficial:** “son aquellos cuerpos de agua presentes en la superficie de los suelos o plataforma continental que generalmente provienen de las lluvias, entre ellas tenemos a ríos, arroyos, lagos, lagunas, entre otras”. [56]

**Coagulación-floculación:** “es un proceso en donde primero se da un proceso de desestabilización de las partículas usando agentes coagulantes, para luego pasar al proceso de floculación en donde las partículas se aglomeran formando otras de mayor tamaño (flóculos)”. [57]

**Contaminación:** “es la presencia de cualquier elemento o grupo de elementos en el ambiente, pueden ser biológicos, químicos o físicos, que causan daño a los seres vivos y a la naturaleza, siempre y cuando estén en concentraciones diferentes a las establecidas normalmente”. [58]

**Fabricación casera:** es la creación o elaboración de artículo a partir de los elementos que lo componen, basados en técnicas tradicionales y usando materiales accesibles.

**Irradiación solar:** “son emisiones electromagnéticas producidas por los rayos solares., que alcanzan la superficie terrestre”. [55]

**Metales pesados:** “son elementos químicos con una densidad aproximada, superior a  $6,0 \text{ g/cm}^3$ ; pero hay casos particulares como el titanio que posee una densidad inferior a  $4,5 \text{ g/cm}^3$  y arsénico con una elevada densidad de  $5,7 \text{ g/cm}^3$  que los convierten en perjudiciales para el ambiente y por ello son clasificados como metales pesados”. [59]

**Plomo:** “metal que presenta una coloración gris azulado, que en la naturaleza se encuentra unido con otros metales como cobre, plata y zinc. Su mayor aplicación en la industria es para la elaboración de baterías para automóviles”. [60]

**Tecnología de remoción:** Son los nuevos conocimientos y métodos aplicados en la eliminación de contaminantes de ciertos elementos presentes en un cuerpo receptor (agua, suelo, etc.).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1. Método de la investigación**

En la presente investigación, se utiliza el método hipotético – deductivo. Según Guanipa [61], este es un conjunto de teorías y conceptos básicos, en el que se elabora de forma deductiva las consecuencias empíricas de la hipótesis y se trata de falsearla para reunir información pertinente. Por tanto, busca la solución de los problemas planteados.

##### **3.1.2. Alcances de la investigación**

###### **A) Tipo de investigación**

Se pretende realizar una investigación del tipo aplicada, conocida también como empírica o práctica, ya que se hace uso de los conocimientos adquiridos en el proceso de búsqueda de antecedentes y elaboración del marco teórico. De esta manera, se observan los efectos o consecuencias generados en el avance de la parte empírica, a lo largo del proceso de experimentación.

###### **B) Nivel de investigación**

El nivel de la presente investigación es del tipo explicativo. Se tiene como fin una asociación de variables, realizar una comparación entre ellas y medir el grado de relación entre estas: masa de coagulante, tiempo de contacto y pH, en relación con la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación Merys.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

En el presente trabajo de investigación, se utilizará un diseño factorial de  $2^3$ , en donde se tendrá tres factores o variables con dos niveles cada uno. De acuerdo con Espinoza [62], un diseño de experimento completo consta de dos o más factores, cada uno con distintos valores o niveles.

Cada prueba experimental tendrá 3 réplicas; por lo tanto, se realizarán 24 pruebas

experimentales.

Se aplicó un diseño experimental, ya que es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental, se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.

La contrastación de hipótesis es un tipo de modelo utilizado en inferencia estadística, cuyo objetivo es comprobar si una estimación se adapta a los valores poblacionales[62]. Según Espinoza [62], las hipótesis son explicaciones tentativas de un fenómeno investigado y son formuladas a manera de proposiciones; por ende, deben ser contrastadas estadísticamente. Por lo tanto, en esta investigación, las hipótesis fueron contrastadas con el análisis de varianza, diagrama de Pareto y un análisis de probabilidad.

### **3.2.1. Procedimiento experimental**

a) Método de la observación:

1. Se realizará la toma de muestra del canal de irrigación Merys, en el distrito de Sicaya. Asimismo, se identificará y anotará la ubicación exacta de cada punto de muestreo mediante el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS).
2. Para la toma de muestra, en cada punto establecido, se usará un balde de 10 l de capacidad para recolectar la muestra de agua; se enjuagará el balde de plástico dos veces con las aguas del canal de regadío Merys y luego se procederá a sacar las muestras de agua colocando el balde en dirección opuesta a la corriente del agua. La muestra se colectará de la parte media del canal de regadío. Luego, se procederá a mezclarlas y homogenizarlas en un balde limpio y transparente.
3. Seguidamente, se pasará al llenado de los frascos de muestreo, previo enjuague de estos, con ayuda de una pequeña jarra de 1 l de capacidad, de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos a analizar.
4. Las muestras se almacenarán dentro de cajas térmicas (cooler) bajo un sistema de enfriamiento de 3°C a 5°C. Luego, se sellarán y transportarán para el análisis en un laboratorio certificado.

5. Sobre la base del procedimiento anterior, se coleccionará también, para los procedimientos a realizar en la investigación, 40 l de agua en dos baldes de 20 l cada uno y se almacenarán a una temperatura de entre 4°C y 8°C.

**b) Método analítico:**

- Laboratorio
  - A. Proceso y elaboración de la unidad de tratamiento con dos cubetas
    - Como módulos, se necesitará de 1 balde de 10 l de capacidad y una cuba de vidrio, módulo N° 1 y módulo N° 2 respectivamente. En el módulo N° 2, se realizará la filtración con arena de río.
    - Se coleccionará 6 kg de arena de río; luego, se pasará a tamizar la arena, con la finalidad de obtener 3 capas que serán usadas como medio filtrante (capa de drenaje, capa de soporte y capa filtrante), usando un tamiz 12mm, de 6mm y de un 1mm de diámetro respectivamente. Después, se pasará a enjuagarlas con agua para quitar los residuos. Finalmente, se escurrirá el agua para obtener arena limpia.
    - En el módulo N° 1, solo se acondicionará un pequeño caño de plástico a 5 cm del fondo del balde y se le anejará una manguera de ¼ pulgadas de diámetro en la boca del caño que conectará con la parte superior del módulo N°2 (a 0,5 cm de la superficie del balde). El módulo N°1 irá encima del módulo N°2.
    - En el módulo N° 2, también se le acondicionará un pequeño caño de plástico, a 0,5 cm de la base del balde. Además, en la base, se le anejará una manguera de 5/16 pulgadas de diámetro en forma horizontal. En este módulo, se procederá a colocar cada una de las capas de arena. Sobre el algodón, primero, se colocará la capa de drenaje (2,5 cm de espesor); después, se colocará la capa de soporte (espesor de 2,5 cm) y encima una capa de algodón con espesor de 3 cm. Finalmente, se colocará la última capa filtrante (espesor de 9 cm).
    - Luego, se añadirá 5 l de la muestra al módulo N° 1 y se le añadirá cinco gotas de lejía. Después, se añadirá el coagulante cloruro férrico hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) en las cantidades de 1,5 g y 5 g para 5 l de muestra de agua.

- Se acondicionará el valor del pH para la mezcla del coagulante y la muestra de agua a valores de 7 y 9. Para ello, se usará soluciones de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) a 1 M e hidróxido de sodio (NaOH) a 1 M según se requiera para las modificaciones. Se agitará la mezcla para lograr una buena distribución del coagulante y buen contacto con la muestra.
- Para la investigación, se variará el tiempo de contacto que será de 2 horas y 3 horas, de acuerdo con el diseño experimental.
- Pasado el tiempo de contacto, se abrirá el caño del módulo N° 1 para que el contenido pase al módulo N° 2. En este paso, se producirá el proceso de filtración; el filtrado será recolectado en un recipiente de vidrio limpio y, posteriormente, se tomará 20 ml de la muestra para realizar el análisis de plomo por espectrofotometría de absorción atómica. Finalmente, se determinará el porcentaje de remoción del plomo.

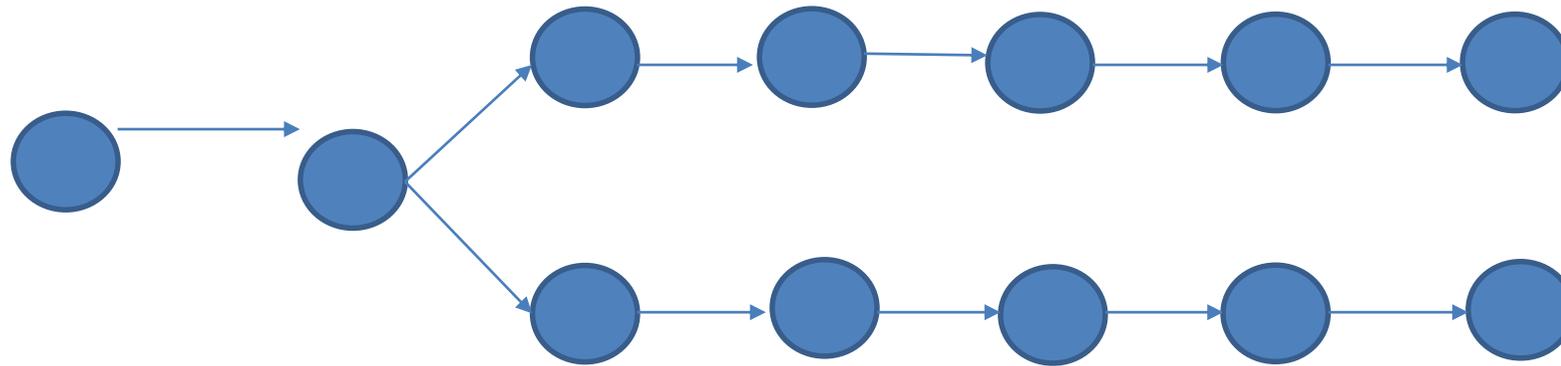
B. Proceso y elaboración del módulo aplicando el método de Remoción sistida por uz solar (RAOS)

- Como módulo, se usarán dos botellas de plástico de gaseosa de 3 l de capacidad. Estas serán lavadas con detergente y enjuagadas. Posteriormente, se dará un enjuague con agua destilada.
- Una de las botellas será cortada por la mitad y se usará la parte que tiene la tapa como filtro para la retención de los flóculos. Se harán 8 orificios en la tapa de la botella con ayuda de un clavo caliente de una pulgada. Luego, se colocará la tapa al frasco cortado y, sobre ella, se acondicionará un espesor de 5 cm de capa de algodón, la cual, para su mejor fijación, será rociada con agua y presionada levemente. Encima, se añadirá una capa de grava de 5 cm de espesor, previamente lavada.
- Para soporte del filtro, se usará la otra botella de plástico que será cortada hasta las  $\frac{3}{4}$  partes de esta; el filtro se colocará dentro de esta. Además, se realizará un orificio 3 cm debajo del corte de la botella con un clavo de 1 pulgada, para evitar la presión al momento del filtrado.

- Luego, se preparará en un balde de plástico de 5 l, una mezcla que contendrá 5 de la muestra y se añadirá a esta el cloruro férrico hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), de acuerdo al diseño experimental en las cantidades de 1,5 g y 5 g para 5 l de muestra de agua.
- Se agregará cinco gotas de limón y se agitará intensamente la muestra hasta homogenizar. Luego, se acondicionará el pH a valores de 7 y 9; para ello, se usará soluciones de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a 1 M e hidróxido de sodio (NaOH) a 1 M según se requiera. Se someterá a agitación la mezcla para lograr una buena distribución del coagulante y buen contacto con toda la muestra.
- Para la investigación, se variará el tiempo de contacto que serán de 2 horas y 3 horas, de acuerdo al diseño experimental.
- Ya pasado el tiempo de contacto, se sacará 1 l de la solución y se agregará al módulo de filtración. Se pondrá la botella sobre una superficie donde lleguen directa e intensamente los rayos del sol. Para esta investigación, la irradiación solar será por un periodo de 6 horas.
- Finalmente, el filtrado será recolectado en un recipiente de vidrio limpio y, posteriormente, se tomará 20 ml de la muestra en viales de esa capacidad para realizar el análisis de plomo por espectrofotometría de absorción atómica.
- Gabinete:
  1. Se procesó la información obtenida de los reportes de los laboratorios.
  2. Se realizó el análisis de varianza más conocida como ANOVA para realizar la comprobación de las hipótesis. Se utilizó el método de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias.

**Tabla 2. Proceso de análisis de las muestras**

Muestreo para el análisis de agua	Muestreo para la aplicación de las tecnologías	Implementación de cada tecnología	Modificación del pH	Mezcla del coagulante con cada tecnología	Proceso de coagulación-floculación	Caracterización final del efluente tratado
-----------------------------------	--	-----------------------------------	---------------------	---	------------------------------------	--



En los puntos establecidos llegar en baldes de 10 L muestras, luego homogeniza todo en un balde más grande de donde se saca muestras en frascos de 1 L, guardadas luego en cajas terminas a 3°C-5°C, recolectando 40 L en total.

Se recolecta 40 l en dos baldes y se almacena a 4°C-8°C.

Para la unidad de tratamiento, se necesita dos baldes de 10.

Solución de  $H_2SO_4$  a 1M y  $Na(OH)$  a 1M para tener un pH de 7 y 9  
 Para la tecnología RAOS, agregar 5 gotas de limón (citrate).

Se agrega  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  en dosis de 1.5g y 5g para 5l de muestra.

Tiempo de contacto de coagulante con plomo será de 2 horas y 3 horas.

Recolección de 20 ml para análisis por espectrofotometría

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

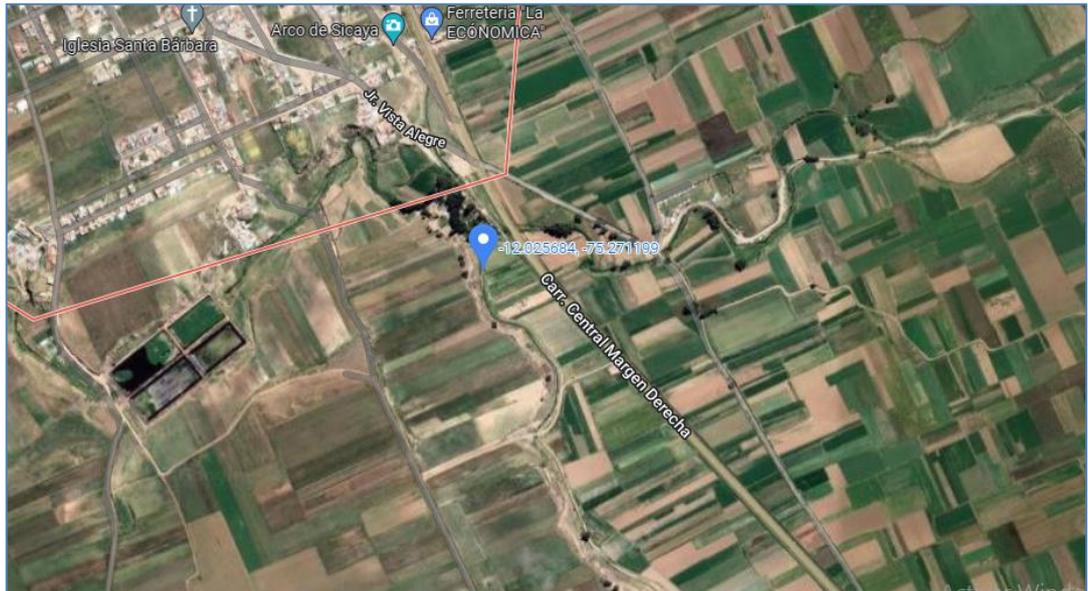
La población estará conformada por las aguas del canal irrigación Merys que están contaminadas con iones metálicos de Pb, con un caudal aproximado de  $0.523 \text{ m}^3/\text{s}$  según el estudio hidrobiológico del departamento de Junín [63].



**Figura 7.** Canal MERYS.

### 3.3.2. Muestra

La muestra del volumen mínimo requerido para el desarrollo de la investigación fue de 4,98 l, que es equivalente a 5 l. El muestreo fue de la clase probabilístico con el tipo de muestreo aleatorio simple que, según Hernández [64], es un procedimiento de muestreo que da, a cada elemento de la población objetivo y a cada posible muestra de un tamaño determinado, la misma probabilidad de ser seleccionado.



*Figura 8. Punto de toma de muestra.*

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- Análisis de contenido cuantitativo: es una técnica para estudiar cualquier tipo de contenido cuantitativo de una manera objetiva y sistemática, que cuantifica los datos o contenidos en categorías y subcategorías y los somete a un análisis estadístico [62].
- Datos secundarios (recolectados por otros investigadores): implica la revisión de documentos, registros públicos y archivos físicos o electrónicos [62].

#### 3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- Informe de reportes de análisis: se utilizó dicho instrumento para recabar la información de los análisis realizados.
- Documentos de investigación: se utilizaron para el desarrollo de la tesis.

- Ficha de campo, cadena de custodia y rótulos del muestreo: fueron utilizados para el desarrollo de la tesis.

## CAPÍTULO IV

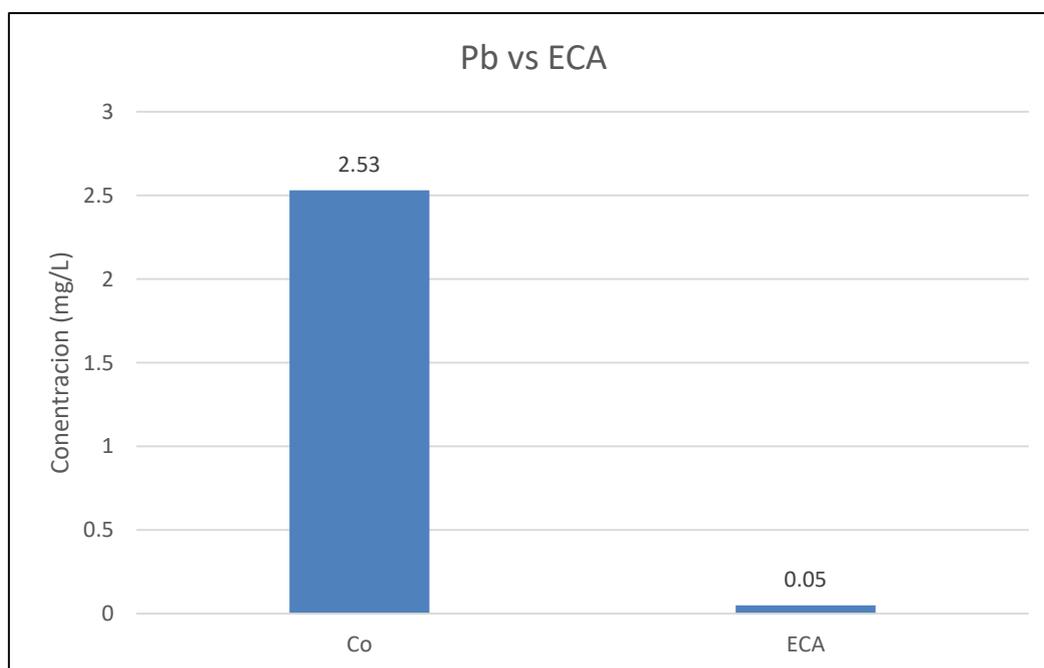
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Para la presentación de los resultados del tratamiento, se analizó las aguas del canal de irrigación MERYS, donde se observó concentraciones elevadas de plomo que superan el ECA-agua. Para reducir dicha concentración, se trabajó con dos tecnologías para la remoción de plomo de dos cubetas y RAOS con la interacción de la masa de coagulante, tiempo de contacto y pH.

##### 4.1.1. Concentración de plomo en las aguas del canal MERYS

Se llevó a cabo la toma de muestra de las aguas del canal de irrigación MERYS, con la finalidad de analizar la concentración de plomo presente en dichas aguas.



**Figura 9.** Concentración inicial de plomo.

La figura 9 muestra la concentración inicial del plomo en el canal de irrigación MERYS, donde se aprecia una concentración de 2.53 mg/l. Dicha concentración supera, por mucho, al valor estipulado por el ECA agua de la

categoría 3 de agua para riego de vegetales y bebida de animales con un valor de 0.05 mg/l.



**Figura 10.** Toma de muestra del canal de irrigación MERY'S.

La figura 10 muestra la toma de muestra de las aguas contaminadas por plomo en el canal de irrigación MERY'S, el cual contiene una concentración de plomo de 2.53 ppm. Esto se debe a la contaminación por relaves mineros al río Mantaro, principalmente, las aguas que se encuentran aledañas a empresas mineras, asentamientos urbanos y otras zonas industriales [66].

#### **4.1.2. Influencia de la masa de coagulante en la comparativa de las dos tecnologías para la remoción de plomo**

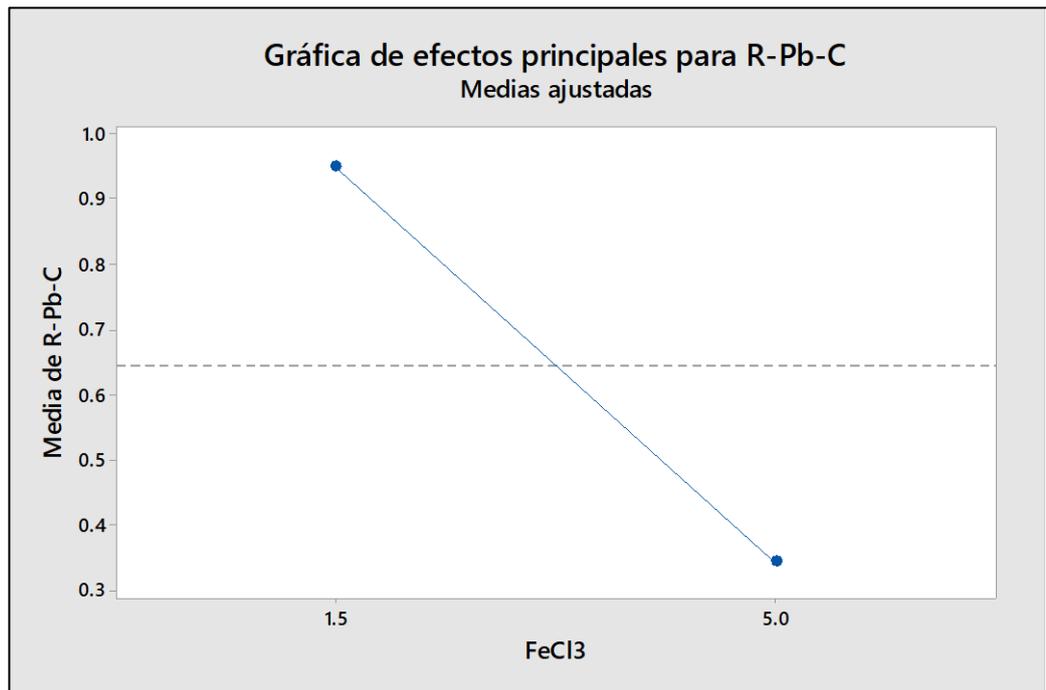
Para identificar la influencia de la masa de coagulante en la remoción del plomo, se trabajó con masas de 1.5 g y 5 g en las dos tecnologías de unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS). Se trabajó con dichas cantidades de coagulante sobre la base de la información obtenida durante la revisión bibliográfica y porque es trabajo de laboratorio.

### Tecnología de dos cubetas (DC)

**Tabla 3.** Variación de la masa de coagulante en la remoción de plomo - DC

Réplica	Masa de coagulante FeCl <sub>3</sub> (g)	Remoción de Pb (%)	Masa de coagulante FeCl <sub>3</sub> (g)	Remoción de Pb (%)
1	1.5	93.65	5	30.35
	1.5	99.53	5	44.47
	1.5	89.41	5	28.24
	1.5	98.35	5	33.65
	1.5	91.29	5	29.18
2	1.5	99.06	5	41.88
	1.5	90.12	5	29.88
	1.5	97.88	5	36.00
	1.5	93.18	5	31.53
3	1.5	99.53	5	47.76
	1.5	87.53	5	26.35
	1.5	97.88	5	30.59
<b>Promedio</b>		94.78	<b>Promedio</b>	34.16

En la tabla 1, se muestra la variación de la masa de coagulante en la remoción del plomo de las aguas del canal de irrigación MERYS con la tecnología de dos cubetas. Se observa que, a una masa de 1.5 g, se tuvo la mayor remoción de plomo con un 94.78 %.



**Figura 11.** Remoción de plomo con la variación de la masa de FeCl<sub>3</sub> - DC

La figura 11 muestra la remoción de plomo con la variación de la masa de coagulante, donde a una masa de 1.5 g se tuvo un 94.78 % y con una masa de 5 g se tuvo un 34.16 %, observando que a mayor masa de coagulante la remoción de plomo desciende.

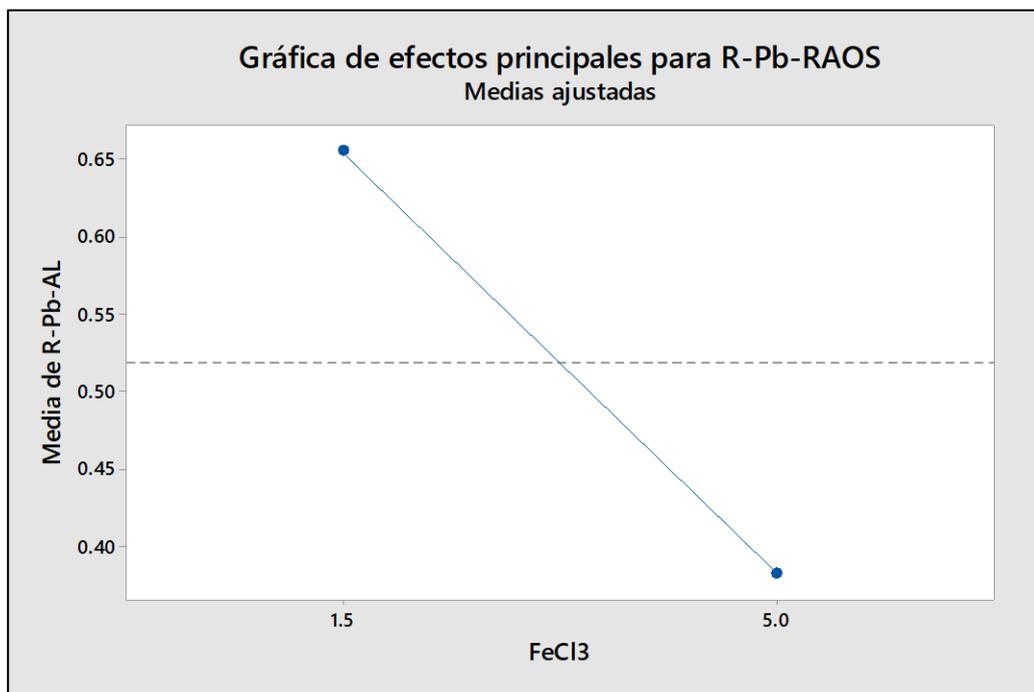
### Tecnología RAOS

**Tabla 4.** Variación de la masa de coagulante en la remoción de plomo - RAOS

Réplica	Masa de coagulante FeCl <sub>3</sub> (g)	Remoción de Pb (%)	Masa de coagulante FeCl <sub>3</sub> (g)	Remoción de Pb (%)
1	1.5	70.12	5	37.65
	1.5	85.41	5	56.71
	1.5	44.94	5	26.82
	1.5	62.12	5	32.71
	1.5	70.82	5	39.29
2	1.5	86.82	5	57.65
	1.5	43.29	5	18.82
	1.5	58.12	5	30.12
	1.5	72.94	5	36.24
3	1.5	85.65	5	55.53
	1.5	44.00	5	32.00

	1.5	62.59	5	35.06
	<b>Promedio</b>	65.57	<b>Promedio</b>	38.22

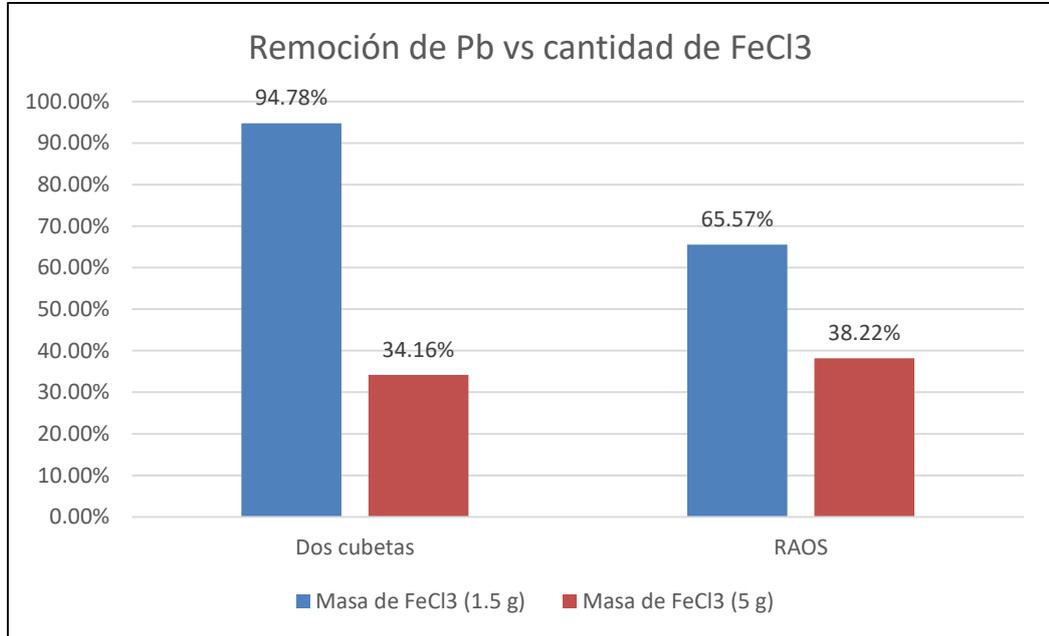
En la tabla 2, se muestra la variación de la masa de coagulante en la remoción del plomo de las aguas del canal de irrigación MERYS con la tecnología RAOS. Se observa que, a una masa de 1.5 g, se tuvo la mayor remoción de plomo con un 65.57 %.



**Figura 12.** Remoción de plomo con la variación de la masa de  $\text{FeCl}_3$ - RAOS

La figura 12 muestra la remoción de plomo con la variación de la masa de coagulante, donde a una masa de 1.5 g se tuvo un 65.57 % y con una masa de 5 g se tuvo un 38.22 %. De esta manera, se observa que, a mayor masa de coagulante, la remoción de plomo desciende.

## Comparación de las dos tecnologías



**Figura 13.** Remoción de plomo con las dos tecnologías variando la masa de coagulante

La figura 13 muestra el porcentaje de remoción de plomo de las aguas del canal MERYS con las dos tecnologías utilizadas: la de dos cubetas y la RAOS. Según el análisis, el mayor porcentaje se obtuvo con la tecnología de dos cubetas con un valor de 94.78 % a una masa de coagulante de 1.5 g.

### 4.1.3. Influencia del tiempo de contacto en la comparativa de las dos tecnologías para la remoción de plomo

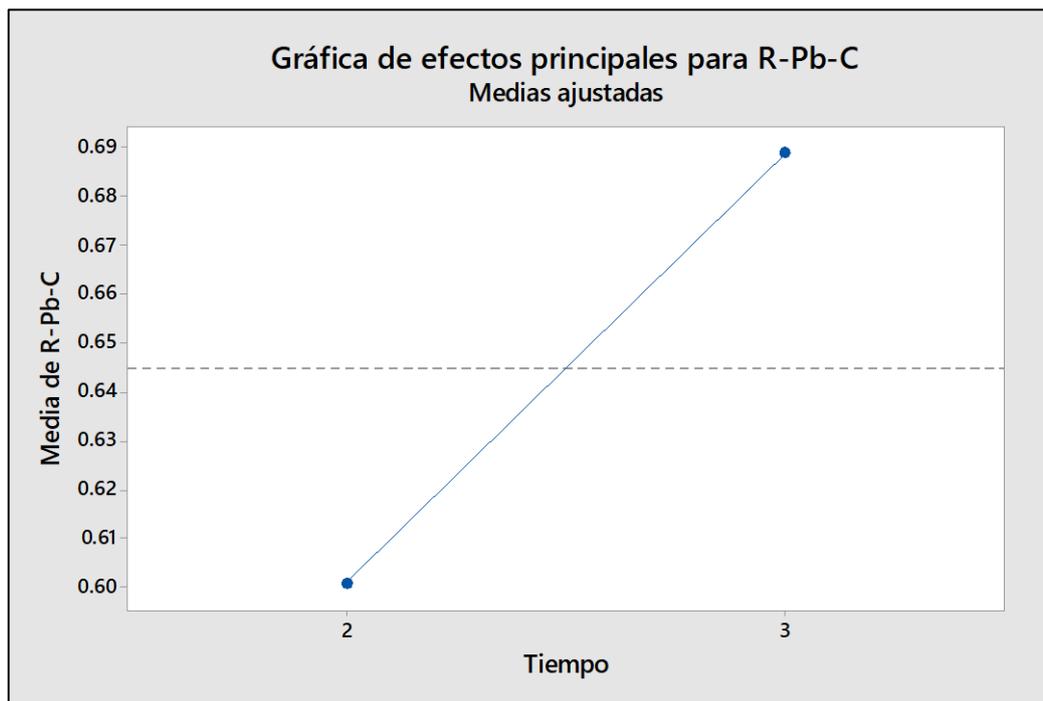
Para describir la influencia del tiempo de contacto en la remoción del plomo, se trabajó con tiempos de contacto de 2 horas y 3 horas en las dos tecnologías de unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS). Se trabajó con dichos tiempos de contacto a partir de la información obtenida en la revisión bibliográfica, los antecedentes y porque es trabajo de laboratorio.

## Tecnología de dos cubetas (DC)

**Tabla 5.** *Variación del tiempo de contacto en la remoción de plomo - DC*

Réplica	Tiempo de contacto (horas)	Remoción de Pb (%)	Tiempo de contacto (horas)	Remoción de Pb (%)
1	2	93.65	3	99.53
	2	89.41	3	98.35
	2	30.35	3	44.47
	2	28.24	3	33.65
	2	91.29	3	99.06
2	2	90.12	3	97.88
	2	29.18	3	41.88
	2	29.88	3	36.00
	2	93.18	3	99.53
3	2	87.53	3	97.88
	2	31.53	3	47.76
	2	26.35	3	30.59
<b>Promedio</b>		60.06	<b>Promedio</b>	68.88

En la tabla 3, se muestra la variación del tiempo de contacto en la remoción del plomo de las aguas del canal de irrigación MERYYS con la tecnología de dos cubetas, donde, en un tiempo de contacto de 3 horas, se tuvo la mayor remoción de plomo con un 68.88 %.



**Figura 14.** Remoción de plomo con la variación del tiempo de contacto - DC

La figura 14 muestra la remoción de plomo con la variación del tiempo de contacto, donde, en un tiempo de contacto de 3 horas, se tuvo un 68.88 %. Asimismo, con un tiempo de contacto de 2 horas, se tuvo un 60.06 %. Se observó que, a menor tiempo de contacto, la remoción de plomo es menor que a un mayor tiempo de contacto.

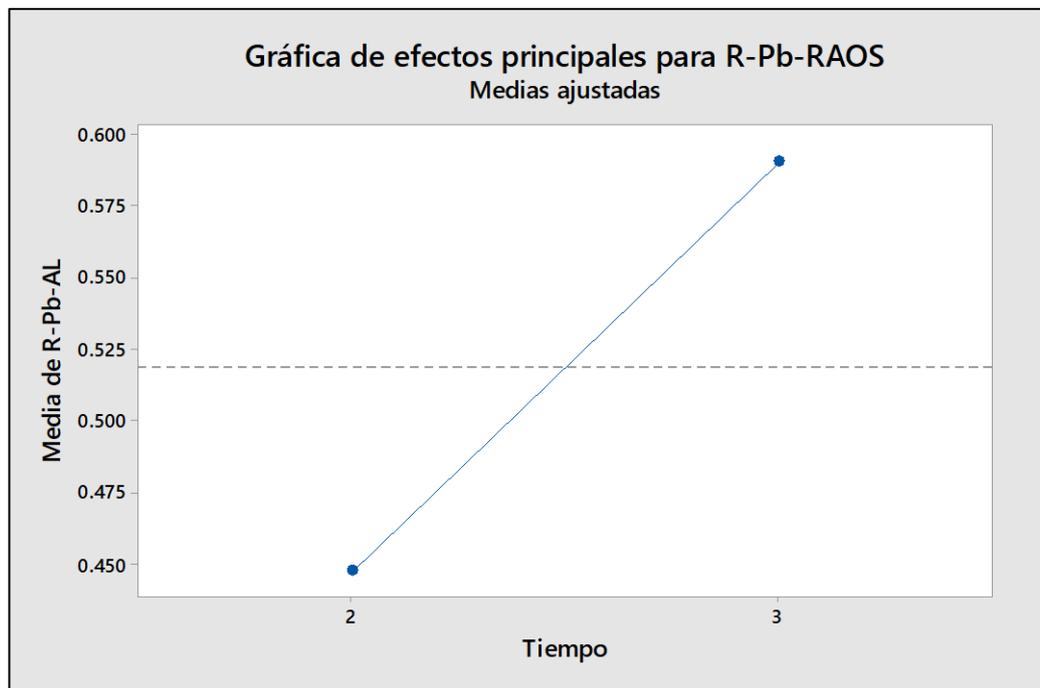
### Tecnología RAOS

**Tabla 6.** Variación del tiempo de contacto en la remoción de plomo – RAOS

Réplica	Tiempo de contacto (horas)	Remoción de Pb (%)	Tiempo de contacto (horas)	Remoción de Pb (%)
1	2	70.12	3	85.41
	2	44.94	3	62.12
	2	37.65	3	56.71
	2	26.82	3	32.71
	2	70.82	3	86.82
2	2	43.29	3	58.12
	2	39.29	3	57.65
	2	18.82	3	30.12

	2	72.94	3	85.65
3	2	44.00	3	62.59
	2	36.24	3	55.53
	2	32.00	3	35.06
	<b>Promedio</b>	44.75	<b>Promedio</b>	59.04

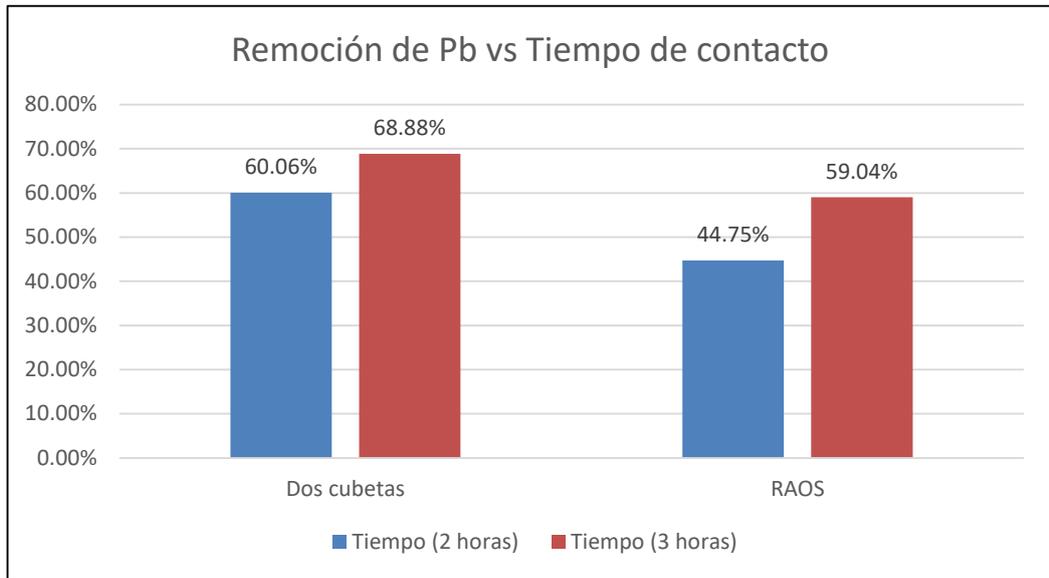
En la tabla 4, se muestra la variación del tiempo de contacto en la remoción del plomo de las aguas del canal de irrigación MERYYS con la tecnología RAOS, donde, en un tiempo de contacto de 3 horas, se tuvo la mayor remoción de plomo con un 59.04 %.



**Figura 15.** Remoción de plomo con la variación del tiempo de contacto– RAOS.

La figura 15 muestra la remoción de plomo con la variación del tiempo de contacto, donde, en un tiempo de contacto de 3 horas, se tuvo un 59.04 % y con un tiempo de contacto de 2 horas se tuvo un 44.75 %. Se observó que, a menor tiempo de contacto, se obtiene menor remoción de plomo.

## Comparación de las dos tecnologías



**Figura 16.** Remoción de plomo con las dos tecnologías variando el tiempo de contacto.

La figura 16 muestra el porcentaje de remoción de plomo de las aguas del canal MERYS con las dos tecnologías utilizadas: la de dos cubetas y la RAOS. Se observa que se obtuvo el mayor porcentaje con la tecnología de dos cubetas con un valor de 68.88 % en un tiempo de contacto de 3 horas.

### 4.1.4. Influencia del pH en la comparativa de las dos tecnologías para la remoción de plomo

Para identificar la influencia del pH en la remoción del plomo, se trabajó con pH de 7 y 9 en las dos tecnologías de unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS).

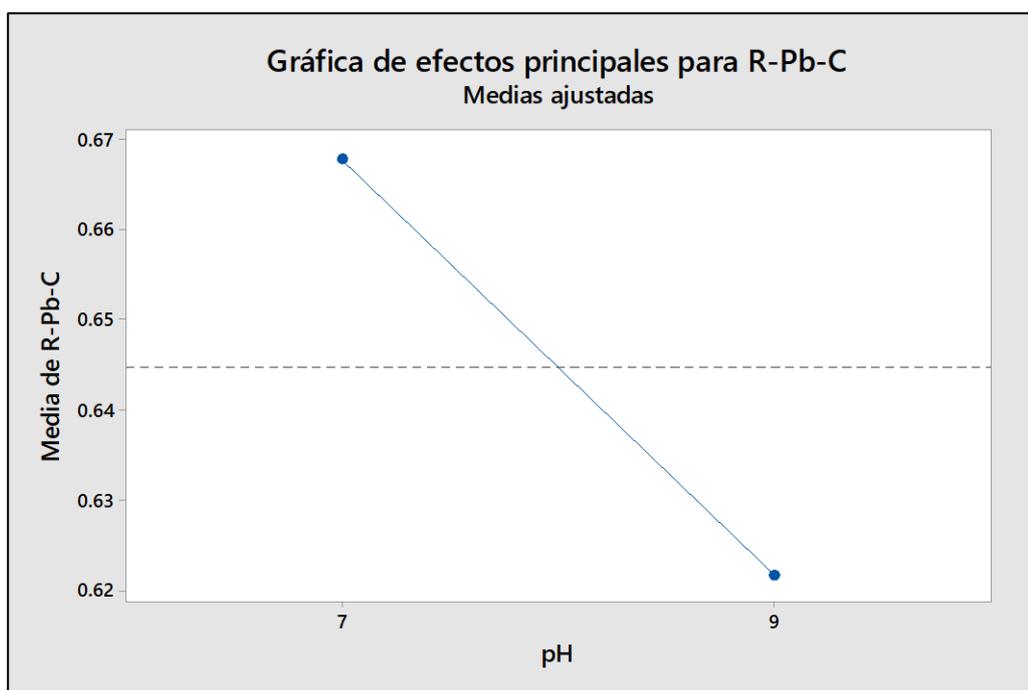
#### Tecnología de dos cubetas (DC)

**Tabla 7.** Variación del pH en la remoción de plomo – DC

Réplica	pH	Remoción de Pb (%)	pH	Remoción de Pb (%)
1	7	93.65	9	89.41
	7	99.53	9	98.35
	7	30.35	9	28.24
	7	44.47	9	33.65
	7	91.29	9	90.12
2	7	99.06	9	97.88
	7	29.18	9	29.88

	7	41.88	9	36.00
	7	93.18	9	87.53
3	7	99.53	9	97.88
	7	31.53	9	26.35
	7	47.76	9	30.59
	<b>Promedio</b>	66.78	<b>Promedio</b>	62.16

En la tabla 5, se muestra la variación del pH en la remoción del plomo de las aguas del canal de irrigación MERYs con la tecnología de dos cubetas, donde, a un pH de 7, se tuvo la mayor remoción de plomo con un 66.78 %.



**Figura 17.** Remoción de plomo con la variación del pH – DC.

La figura 17 muestra la remoción de plomo con la variación del pH, donde, a un pH de 7, se tuvo un 66.78 % y, con un pH de 9, se tuvo un 62.16 %. Se observa que, a mayor pH, se tiene menor remoción de plomo.

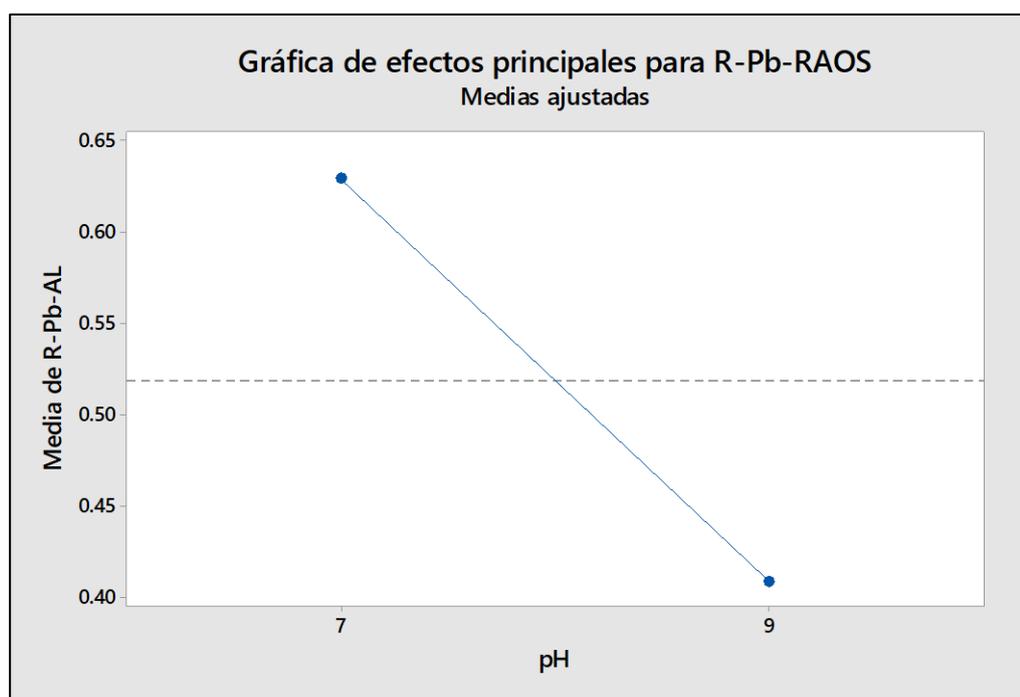
### Tecnología RAOS

**Tabla 8.** Variación del pH en la remoción de plomo – RAOS

Réplica	pH	Remoción de Pb (%)	pH	Remoción de Pb (%)
1	7	70.12	9	44.94
	7	85.41	9	62.12

	7	37.65	9	26.82
	7	56.71	9	32.71
	7	70.82	9	43.29
2	7	86.82	9	58.12
	7	39.29	9	18.82
	7	57.65	9	30.12
	7	72.94	9	44.00
3	7	85.65	9	62.59
	7	36.24	9	32.00
	7	55.53	9	35.06
	<b>Promedio</b>	<b>62.90</b>	<b>Promedio</b>	<b>40.88</b>

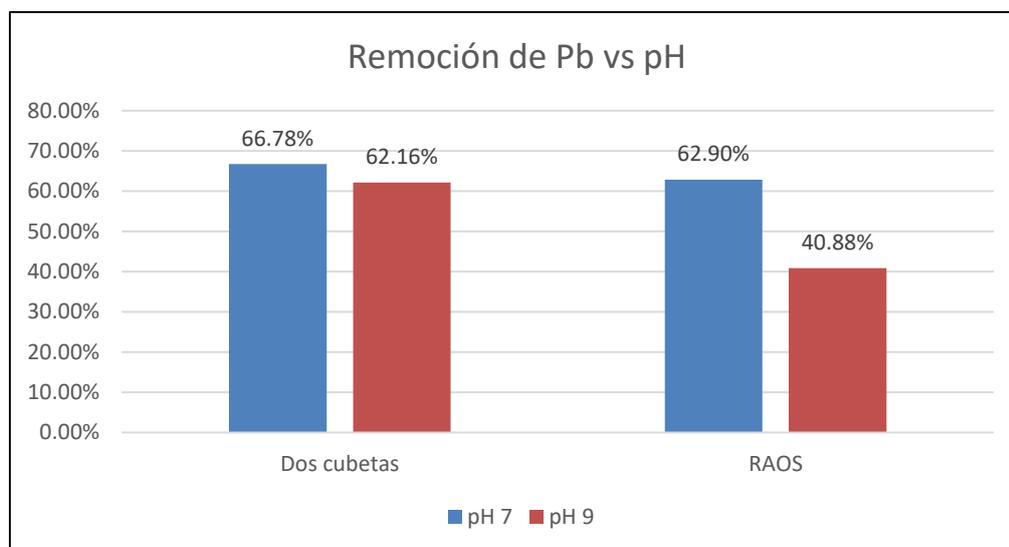
En la tabla 6, se muestra la variación del pH en la remoción del plomo de las aguas del canal de irrigación MERYYS con la tecnología RAOS, donde, a un pH de 7, se tuvo la mayor remoción de plomo con un 62.90 %.



**Figura 18.** Remoción de plomo con la variación del pH – RAOS.

La figura 18 muestra la remoción de plomo con la variación del pH, donde, a un pH de 7, se tuvo un 62.90 % y con un pH de 9 se tuvo un 40.88 %. Se observa que, a un pH menor, se tiene mayor remoción de plomo.

## Comparación de las dos tecnologías



**Figura 19.** Remoción de plomo con las dos tecnologías variando el pH.

La figura 19 muestra el porcentaje de remoción de plomo de las aguas del canal MERYS con las dos tecnologías utilizadas: la de dos cubetas y la RAOS. Se obtuvo el mayor porcentaje con la tecnología de dos cubetas, con un valor de 66.78 % a un pH de 7.

### 4.1.4. Eficiencia de las dos tecnologías: unidad de tratamiento con dos cubetas y RAOS

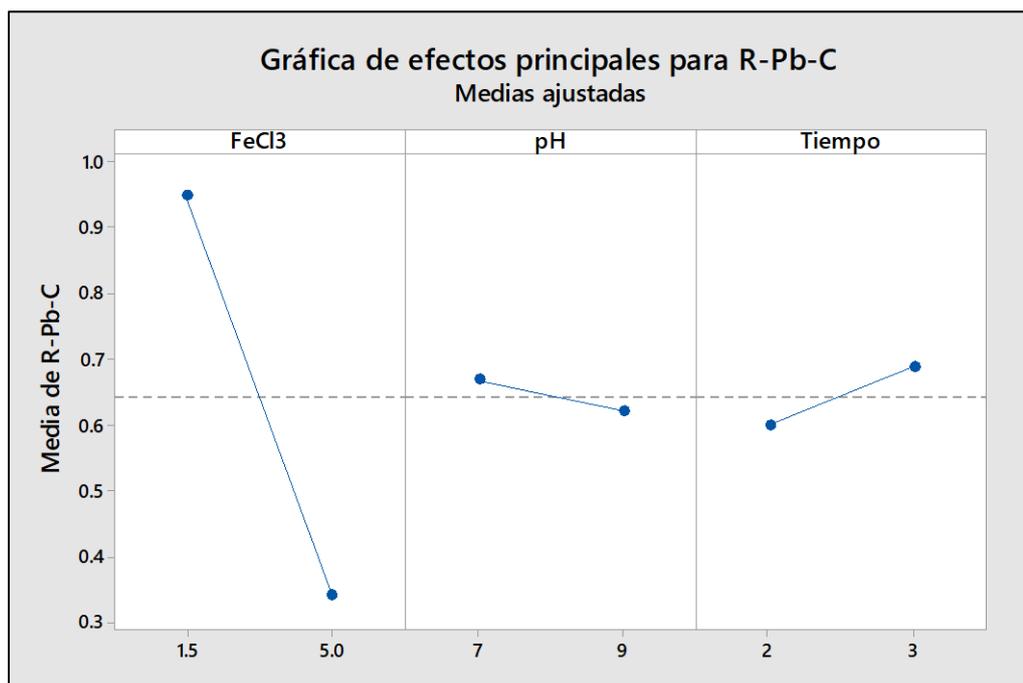
Para comparar la eficiencia de las dos tecnologías utilizadas, se trabajó con la variación de la masa de coagulante de 1.5 g a 5 g, tiempo de contacto de 2 horas a 3 horas y un pH de 7 a 9.

#### Dos cubetas

**Tabla 9.** Remoción de plomo con la tecnología de dos cubetas

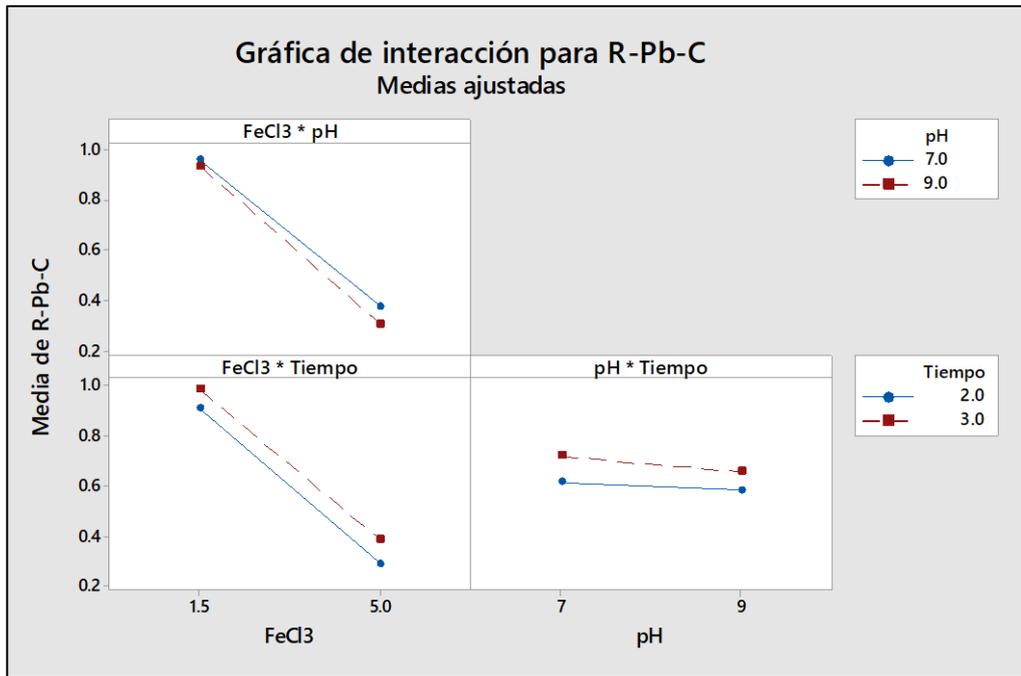
Masa de coagulante FeCl <sub>3</sub> (g)	pH	Tiempo de contacto (horas)	Remoción de Pb (%)			
			Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
1.5	7	2	93.65	91.29	93.18	92.71
1.5	7	3	99.53	99.06	99.53	99.37
1.5	9	2	89.41	90.12	87.53	89.02
1.5	9	3	98.35	97.88	97.88	98.04
5	7	2	30.35	29.18	31.53	30.35
5	7	3	44.47	41.88	47.76	44.71
5	9	2	28.24	29.88	26.35	28.16
5	9	3	33.65	36.00	30.59	33.41

La tabla 7 muestra la remoción de plomo con la tecnología de dos cubetas, donde, en una masa de coagulante de 1.5 g, pH de 7 y tiempo de contacto de 3 horas, se tuvo un 99.37 % de remoción de plomo de las aguas del canal MERYS. Esto representa una remoción de plomo equivalente a 2.51 mg/l, lo que significa que las aguas del canal MERYS quedaron con una concentración de plomo de 0.02 mg/l, lo cual está por debajo del ECA y se cumple con dicho parámetro.



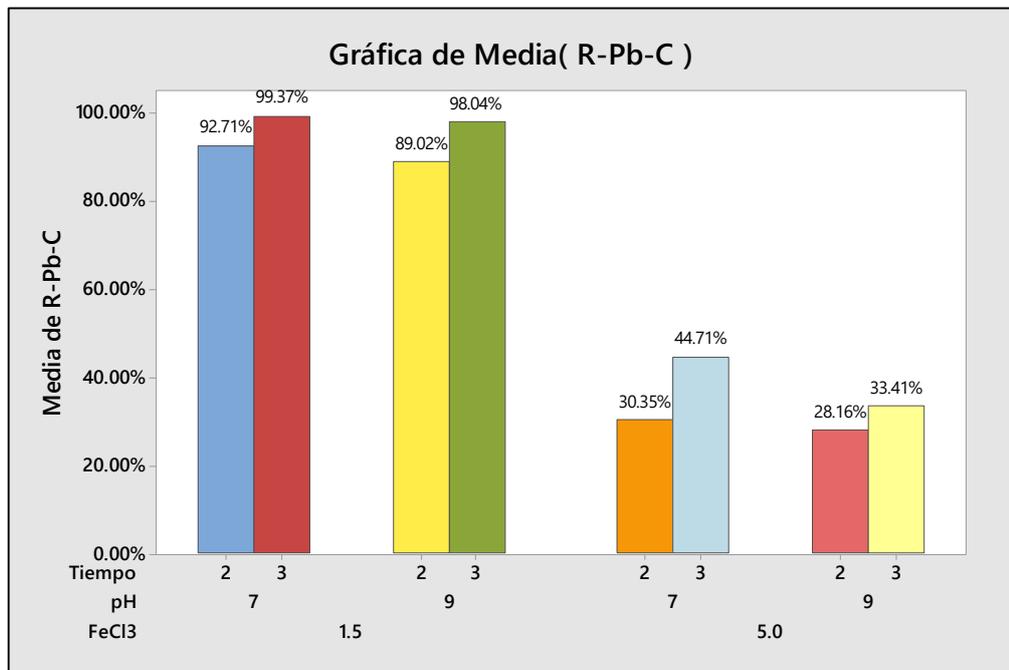
**Figura 20.** Efectos principales en la remoción de plomo - DC

La figura 20 muestra la gráfica de los efectos principales, donde a una masa de coagulante de 1.5 g, pH de 7 y tiempo de contacto de 3 horas, se tuvo la mayor remoción de plomo de las aguas del canal MERYS.



**Figura 21.** Interacción de las variables en la remoción de plomo - DC

La figura 21 muestra la gráfica de interacción de las variables en la remoción de plomo. Se trabajó con variaciones de la masa de coagulante, tiempo de contacto y pH.



**Figura 22.** Media de la remoción de plomo – DC.

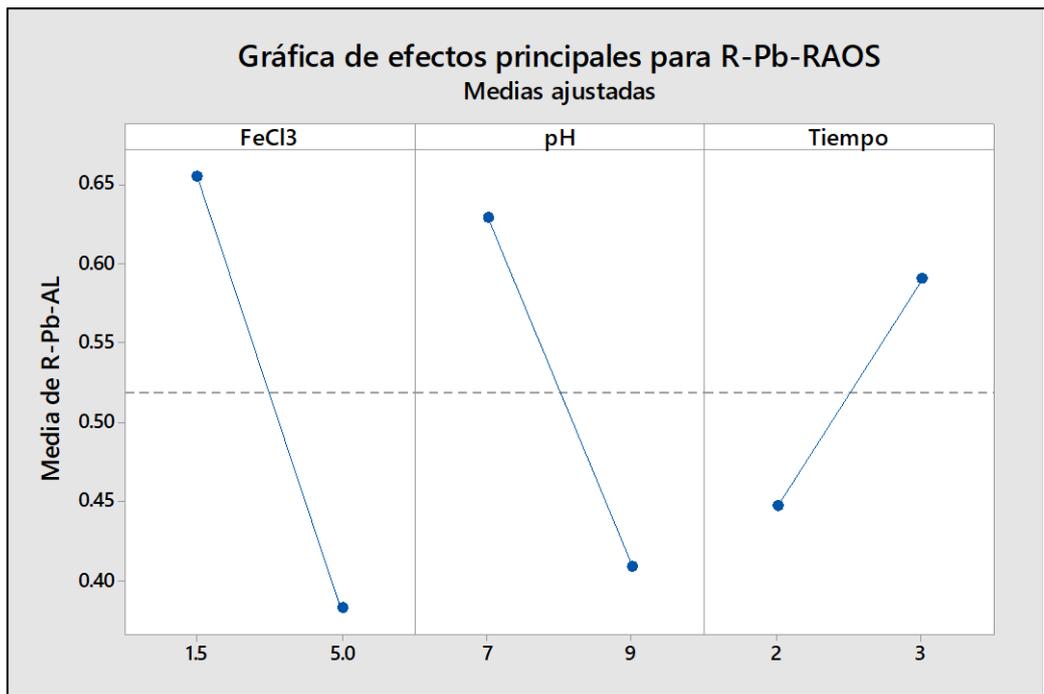
La figura 22 muestra la media de la remoción de plomo con la tecnología de dos cubetas. Se obtuvo un valor máximo de remoción de plomo del 99.37 % y un valor mínimo de 28.16 %.

## RAOS

**Tabla 10.** *Remoción de plomo con la tecnología de RAOS*

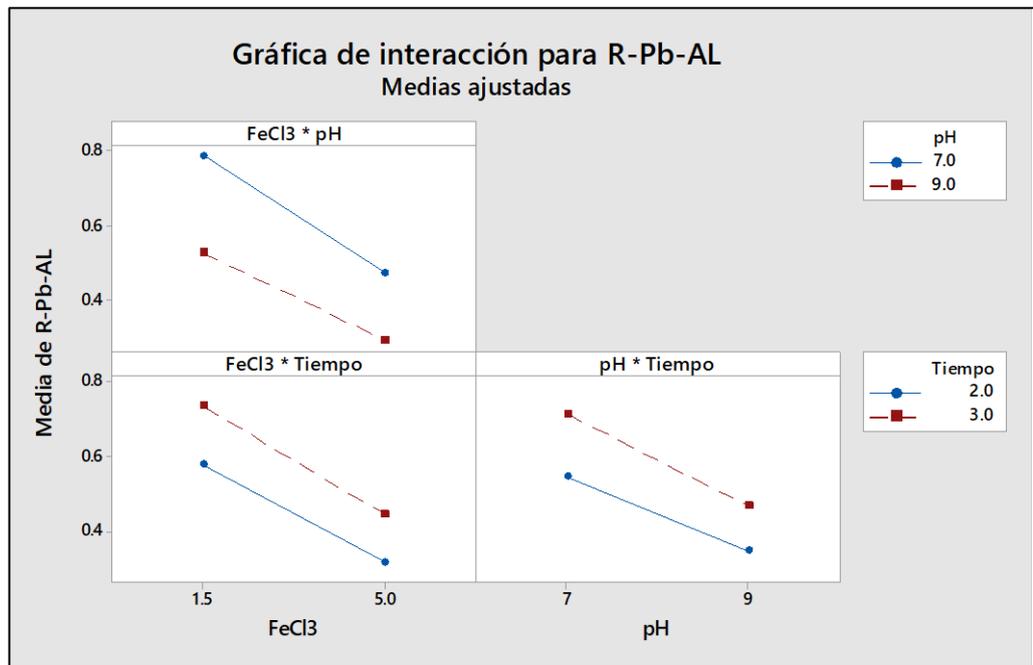
Masa de coagulante FeCl <sub>3</sub> (g)	pH	Tiempo de contacto (horas)	Remoción de Pb (%)			Promedio
			Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	
1.5	7	2	70.12	70.82	72.94	71.29
1.5	7	3	85.41	86.82	85.65	85.96
1.5	9	2	44.94	43.29	44.00	44.08
1.5	9	3	62.12	58.12	62.59	60.94
5	7	2	37.65	39.29	36.24	37.73
5	7	3	56.71	57.65	55.53	56.63
5	9	2	26.82	18.82	32.00	25.88
5	9	3	32.71	30.12	35.06	32.63

La tabla 8 muestra la remoción de plomo con la tecnología de dos cubetas, donde, con una masa de coagulante de 1.5 g, pH de 7 y tiempo de contacto de 3 horas, se obtuvo un 85.96 % de remoción de plomo de las aguas del canal MERYS. Esto representa una remoción de plomo equivalente a 2.17 mg/l, lo que significa que las aguas del canal MERYS quedaron con una concentración de plomo de 0.36 mg/l, por lo que no cumple con el ECA.



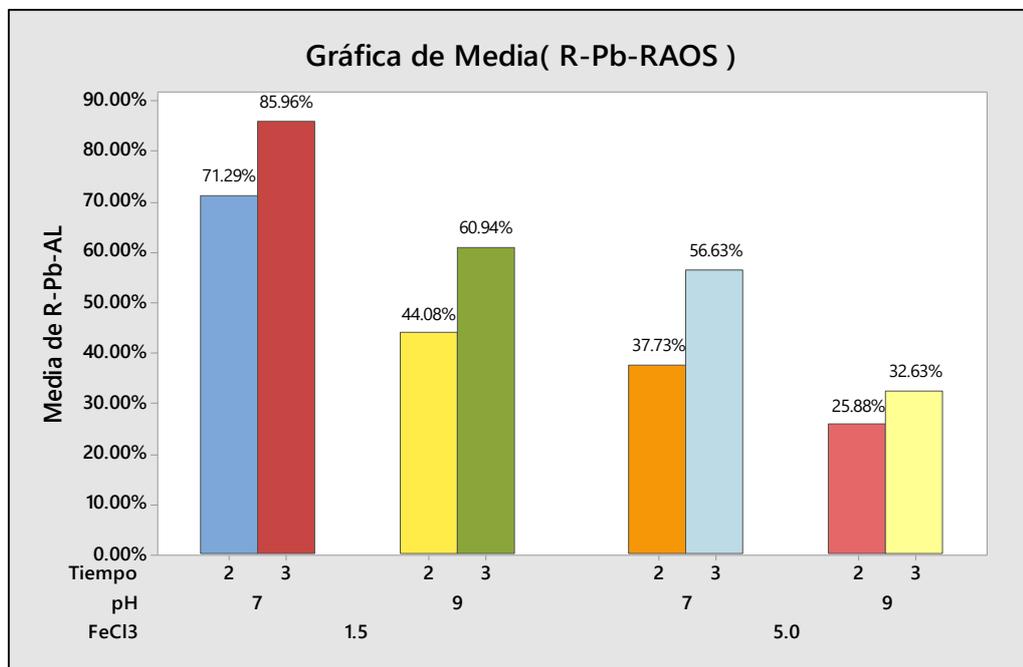
**Figura 23.** Efectos principales en la remoción de plomo – RAOS.

La figura 23 muestra la gráfica de los efectos principales. Esta evidencia que, con una masa de coagulante de 1.5 g, pH de 7 y tiempo de contacto de 3 horas, se obtuvo la mayor remoción de plomo de las aguas del canal MERYS.



**Figura 24.** Interacción de las variables en la remoción de plomo – RAOS.

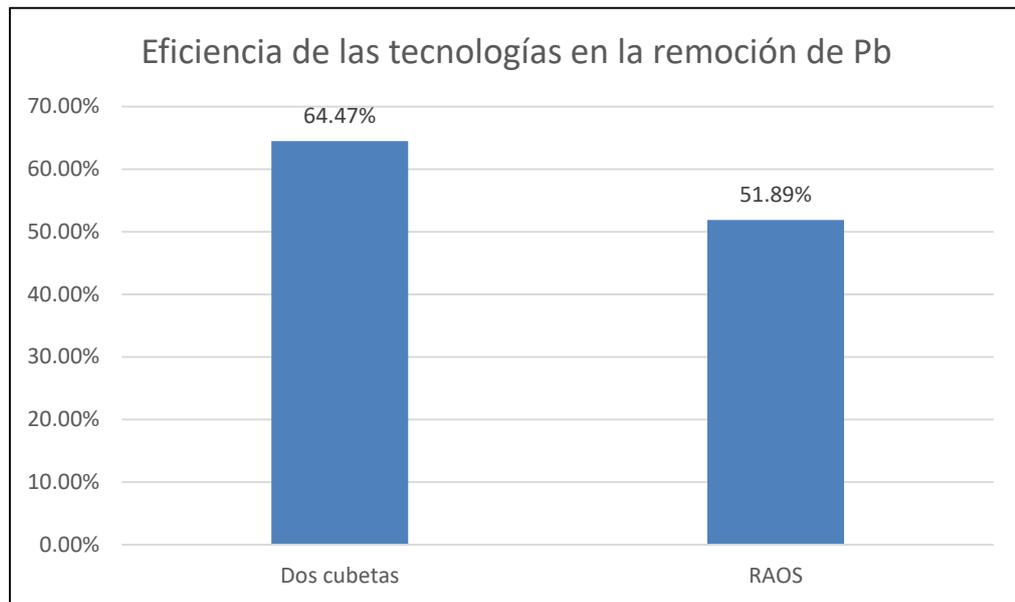
La figura 24 muestra la gráfica de interacción de las variables en la remoción de plomo. Se trabajó con variaciones de la masa de coagulante, tiempo de contacto y pH.



**Figura 25.** Media de la remoción de plomo - RAOS

La figura 25 muestra la media de la remoción de plomo con la tecnología de RAOS, donde se tuvo un valor máximo de remoción de plomo del 85.96 % y un valor mínimo de 25.88 %.

## Comparación de las dos tecnologías



**Figura 26.** Eficiencia de las dos tecnologías

La figura 26 muestra la eficiencia de las dos tecnologías utilizadas en el desarrollo de la tesis para la remoción de plomo del canal MERYYS. En esta, se aprecia que la mejor tecnología fue la de dos cubetas porque tuvo una remoción promedio total de plomo de 64.47 %. Con la variación de las variables, se tuvo un valor del 99.37 %, lo cual cumple con el ECA. Al respecto, Carranza [6] señala que es un método tradicional que se basa en los procesos de coagulación-floculación y sedimentación, los cuales se realizan uno después del otro. El agua contaminada es vertida en la cubeta superior, donde se realizan los procesos de coagulación-floculación. Para ello, se agrega un agente químico, que se compone de una combinación de un coagulante y un oxidante. La segunda cubeta se encuentra previamente cargada con arena filtradora hasta la mitad. En la parte inferior externa de esta, se encuentra conectado un grifo por donde saldrá el agua libre de sedimentos después del tratamiento. Por lo dicho anteriormente, la tecnología de dos cubetas fue más eficiente en comparación con la RAOS.

### 4.2. Prueba de hipótesis

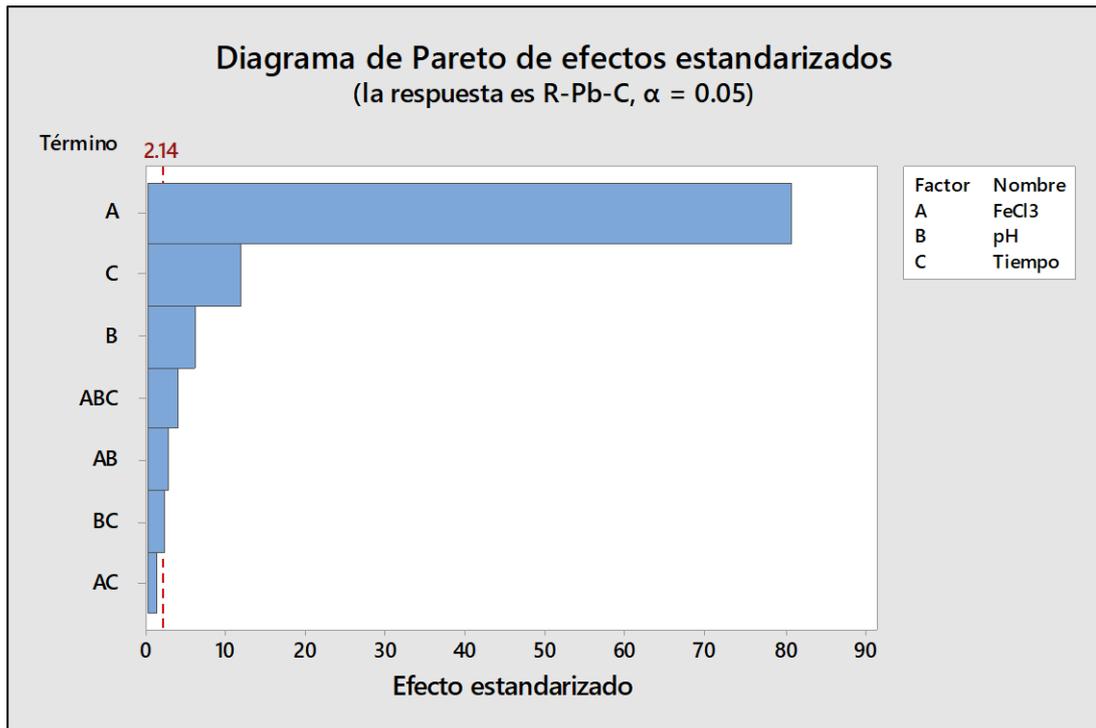
Para la prueba de hipótesis, se utilizó el análisis de varianza, diagrama de Pareto y una gráfica de probabilidad normal.

## Dos cubetas

**Tabla 11.** *Análisis de varianza para la tecnología de dos cubetas*

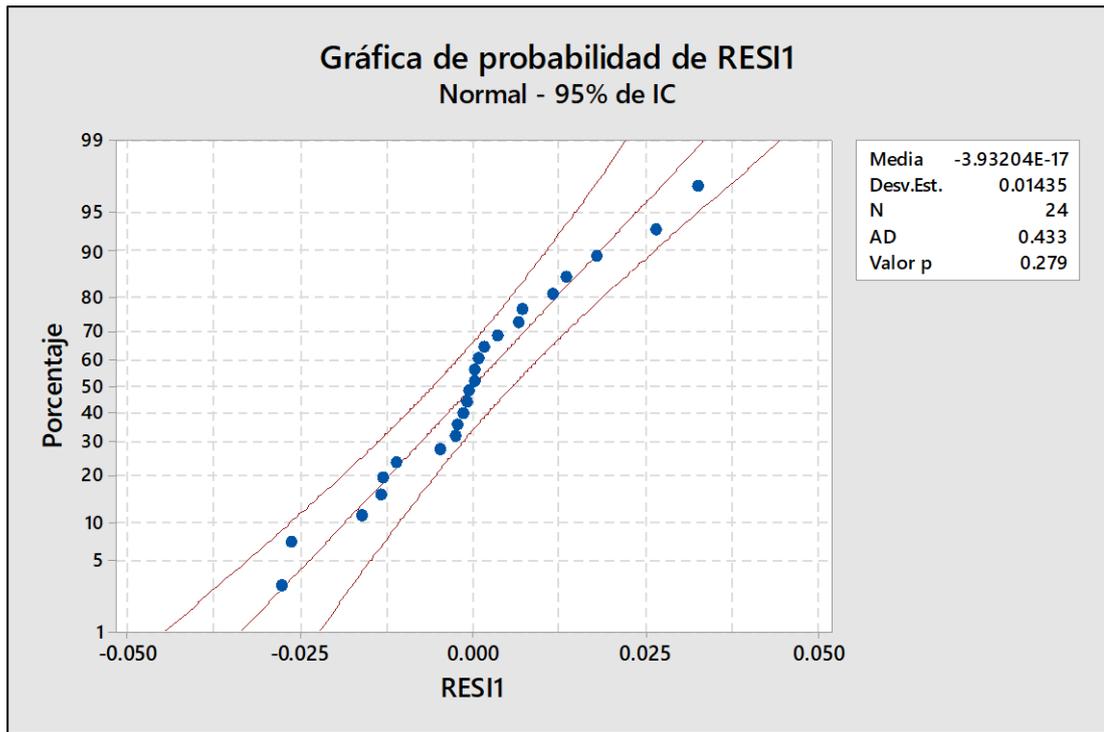
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	9	2.27494	0.25277	747.01	0.000
Bloques	2	0.00007	0.00004	0.11	0.900
Lineal	3	2.26497	0.75499	2231.22	0.000
FeCl <sub>3</sub>	1	2.20541	2.20541	6517.65	0.000
pH	1	0.01285	0.01285	37.97	0.000
Tiempo	1	0.04671	0.04671	138.05	0.000
Interacciones de 2 términos	3	0.00497	0.00166	4.90	0.016
FeCl <sub>3</sub> *pH	1	0.00269	0.00269	7.95	0.014
FeCl <sub>3</sub> *Tiempo	1	0.00058	0.00058	1.70	0.213
pH*Tiempo	1	0.00171	0.00171	5.04	0.041
Interacciones de 3 términos	1	0.00492	0.00492	14.53	0.002
FeCl <sub>3</sub> *pH*Tiempo	1	0.00492	0.00492	14.53	0.002
Error	14	0.00474	0.00034		
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>2.27967</b>			

La tabla 9 muestra el análisis de varianza para la tecnología de dos cubetas. Se observa que los factores de masa de coagulante, tiempo de contacto y pH muestran valores de p igual a 0.000. Por lo tanto, existe una influencia significativa en la remoción de plomo.



**Figura 27.** Diagrama de Pareto para la tecnología de dos cubetas.

La figura 27 muestra el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para la remoción de plomo con la utilización de la tecnología de dos cubetas. En esta, se observa que el factor de la masa de coagulante es el que más efectos presentó en la remoción de plomo.



**Figura 28.** Diagrama de Pareto para la tecnología de dos cubetas.

La figura 28 muestra la gráfica de probabilidad, la cual presenta un valor de p de 0.279. Dicho valor es superior al de la significancia. Por ende, se afirma que los datos de la investigación presentan una distribución normal y provienen de una población normal.

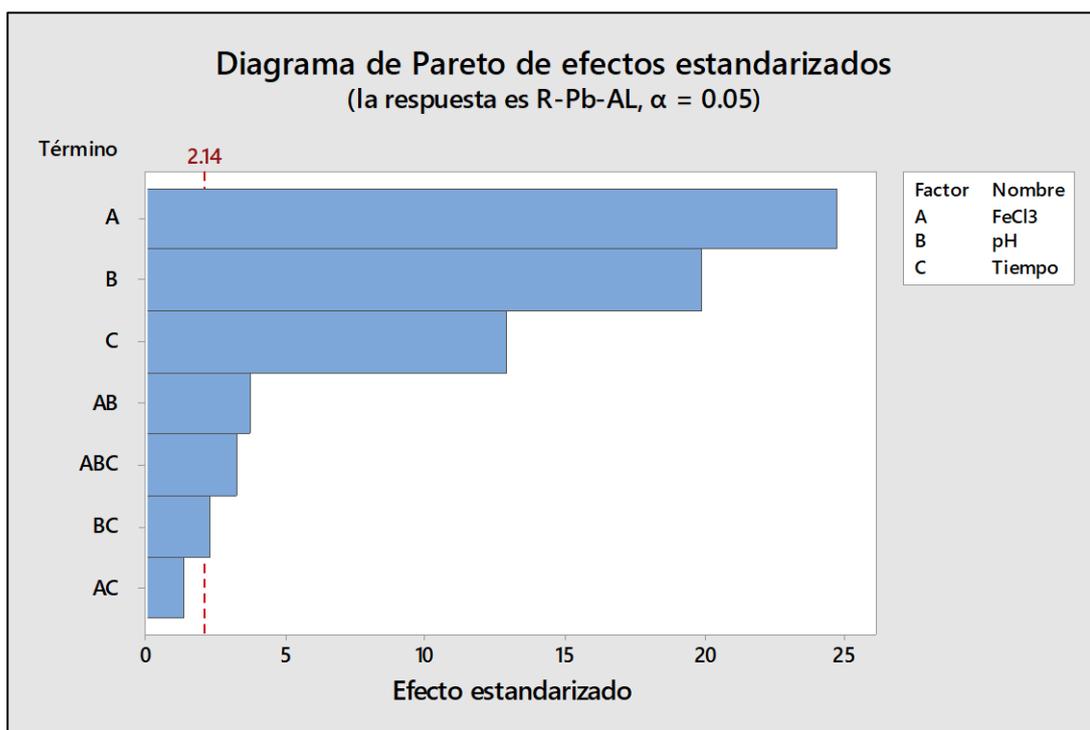
## RAOS

**Tabla 12.** Análisis de varianza para la tecnología de RAOS

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0.887544	0.098616	133.84	0.000
Bloques	2	0.002304	0.001152	1.56	0.244
Lineal	3	0.862421	0.287474	390.15	0.000
FeCl <sub>3</sub>	1	0.448910	0.448910	609.25	0.000
pH	1	0.290918	0.290918	394.83	0.000
Tiempo	1	0.122593	0.122593	166.38	0.000
Interacciones de 2 términos	3	0.015095	0.005032	6.83	0.005
FeCl <sub>3</sub> *pH	1	0.010076	0.010076	13.68	0.002
FeCl <sub>3</sub> *Tiempo	1	0.001298	0.001298	1.76	0.206
pH*Tiempo	1	0.003721	0.003721	5.05	0.041

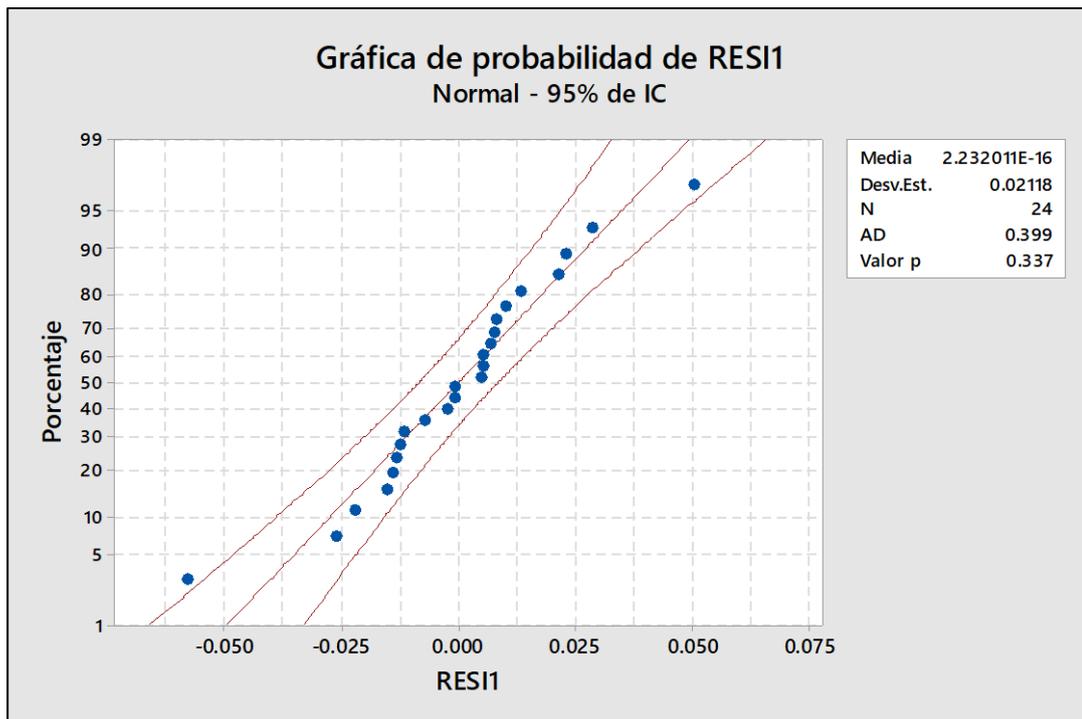
Interacciones de 3 términos	1	0.007725	0.007725	10.48	0.006
FeCl <sub>3</sub> *pH*Tiempo	1	0.007725	0.007725	10.48	0.006
Error	14	0.010316	0.000737		
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>0.897860</b>			

La tabla 10 muestra el análisis de varianza para la tecnología de RAOS. En esta, se observa que los factores de masa de coagulante, tiempo de contacto y pH muestran valores de p igual a 0.000. Por lo tanto, existe una influencia significativa en la remoción de plomo.



**Figura 29.** Diagrama de Pareto para la tecnología de RAOS.

La figura 29 muestra el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para la remoción de plomo con la utilización de la tecnología de RAOS. En esta, se observa que el factor de la masa de coagulante es el que más efectos presentó en la remoción de plomo.



**Figura 30.** Diagrama de Pareto para la tecnología de RAOS.

La figura 30 muestra la gráfica de probabilidad, la cual presenta un valor de p de 0.337. Dicho valor es superior al de la significancia. Por ende, se afirma que los datos de la investigación presentan una distribución normal y provienen de una población normal.

Para la contrastación de la primera hipótesis, se utilizó el análisis de varianza. Para ello, se había planteado la hipótesis de investigación (H1) y su respectiva hipótesis nula (H0).

H1: La unidad de tratamiento con dos cubetas presentará mayor eficiencia frente a la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYs.

H0: La unidad de tratamiento con dos cubetas no presentará mayor eficiencia altamente significativa a comparación con el método de unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) en la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYs.

Observando las tablas de análisis de varianza, donde se tuvo un valor de p de 0.00, menor que el valor de significancia de 0.05 y los resultados obtenidos en la parte experimental, se decide aceptar la hipótesis de investigación y rechazar la hipótesis nula (H0). Después del análisis, se afirma de que la unidad de tratamiento con dos cubetas presenta mayor eficiencia frente a la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYs.

#### **4.3. Discusión de resultados**

Para la remoción de plomo del canal MERYs a una concentración de 2.53 ppm, se empleó dos tecnologías las cuales son la unidad de tratamiento con dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS). Se trabajó con cantidades de 1.5 g - 5 g, tiempos de contacto de 2 horas - 3 horas y pH de 7 y 9. Los resultados señalan que, con una masa de 1.5 g de coagulante de FeCl<sub>3</sub>, se obtuvo las mayores remociones en las dos tecnologías utilizadas. Con la tecnología de dos cubetas, se logró una remoción del 94.78 % equivalente a 2.40 ppm y con la tecnología RAOS una remoción del 65.57 % equivalente a 1.66 ppm. De esta manera, se puede afirmar que la tecnología de dos cubetas tuvo la mayor remoción de plomo con una masa de 1.5 g de coagulante. De manera similar, Carranza [6] trabajó con las mismas tecnologías utilizadas en esta investigación. Utilizó cantidades de 5 ml a 15 ml y obtuvo una remoción de plomo superior al 99 %, mayor al análisis de esta investigación, debido a que trabajó con una concentración menor de plomo de 1 ppm. En este estudio, se observó que, a mayor masa de coagulante, menor fue la remoción de plomo. Lara [65] afirma que se ha demostrado que dosis muy altas de coagulante suelen provocar una baja eficiencia, debido a la reestabilización de la carga de partículas, y, por ende, una menor remoción del plomo. La masa óptima del FeCl<sub>3</sub> fue de 1.5 g para ambas tecnologías.

Con un tiempo de contacto de 3 horas, se tuvo la mayor eficiencia de remoción de plomo para ambas tecnologías, donde un 68.88 % equivalente a 1.74 ppm fue para la tecnología de dos cubetas y un 59.04 % equivalente a 1.49 ppm para la tecnología de RAOS. Por ello, se afirma que la tecnología de dos cubetas tuvo la mayor remoción de plomo con un tiempo de contacto de 3 horas. De manera similar, autores como Carranza [6] y Chávez [7] afirman que, a mayor tiempo de contacto, se dio la mayor remoción de plomo alcanzando su equilibrio a las 3 horas. En el caso de la variación del pH, se trabajó a pH de 7 y 9, donde, a un pH de 7, se tuvo la mayor eficiencia de remoción de plomo para ambas tecnologías. Para la tecnología de dos

cubetas, se tuvo un 66.78 % de remoción de plomo equivalente a 1.69 ppm y para la tecnología de RAOS se tuvo un 62.90 % de remoción de plomo equivalente a 1.59 ppm. De esta manera, se sostiene que la tecnología de dos cubetas tuvo la mayor remoción de plomo con un pH de 7. Los resultados concuerdan con Pang [1], quien obtuvo una remoción de plomo del 98 % a un pH de 7 y con Pang [67], quien afirma que el pH óptimo para la remoción de plomo está en el rango de 6.6 a 7.1, lo que coincide con esta investigación.

Respecto a la eficiencia de las dos tecnologías utilizadas para la remoción del plomo, se trabajó con las variaciones de las cantidades de 1.5 g - 5 g, tiempos de contacto de 2 horas - 3 horas y pH de 7 y 9. Mediante un diseño factorial de 23, a una masa de 1.5 g, tiempo de contacto de 3 horas y pH de 7, se tuvo la mayor eficiencia de remoción de plomo para ambas tecnologías. Para la tecnología de dos cubetas, se tuvo un 99.37 % de remoción de plomo equivalente a 2.51 ppm y, para la tecnología de RAOS, se tuvo un 85.96 % de remoción de plomo equivalente a 2.17 ppm. De esta manera, se afirma que la tecnología de dos cubetas tuvo la mayor remoción de plomo, ya que eliminó una concentración de plomo de 2.51 ppm de los 2.53 ppm. En decir, en el agua, solo queda una concentración de 0.02 ppm. Dicho valor se encuentra en los límites del ECA agua para el riego de vegetales y bebida de animales. La eficiencia de manera total de las dos tecnologías utilizadas en el desarrollo de esta tesis, para la remoción de plomo del canal MERYS, evidencia que la mejor tecnología fue la de dos cubetas, dado que esta obtuvo una remoción promedio total de plomo de 64.47 %, a diferencia de la tecnología de RAOS que fue de 51.89 %.

De manera similar a los resultados de esta investigación, Carranza [6] trabajó con las tecnologías de dos cubetas y la RAOS para la remoción de plomo. Obtuvo que la mejor tecnología fue la de dos cubetas con una remoción total de plomo de 100 %, con una diferencia del 0.63 % de remoción de plomo en relación con esta investigación. Asimismo, para la tecnología de RAOS, logró un 99.31 %, con una diferencia de 13.35 % de plomo en comparación con este estudio. Esta diferencia se debe principalmente a la incidencia de los rayos de luz para la tecnología de RAOS; por ello, se tiene una menor eficiencia que la tecnología de dos cubetas. Chávez [7] corrobora esta afirmación. Este investigador trabajó con la tecnología de RAOS y alcanzó una remoción de plomo del 98.5 % con una incidencia de irradiación solar

promedio de 612.1 W-h/m<sup>2</sup> en 6 horas. En este estudio, la irradiación solar promedio fue de 259.8 W-h/m<sup>2</sup> según la estación de Huayao. Por ende, al haber una diferencia de irradiación solar, la eficiencia de la tecnología de RAOS disminuye en esta investigación.

Así, a partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se pueda señalar que la mejor tecnología es la de dos cubetas. Al respecto, Carranza [6] señala que es un método tradicional que se basa en los procesos de coagulación-floculación y sedimentación, los cuales se realizan uno después del otro. El agua contaminada es vertida en la cubeta superior, donde se realizan los procesos de coagulación-floculación. Para ello, se agrega un agente químico, que se compone de una combinación de un coagulante y un oxidante. La segunda cubeta se encuentra previamente cargada con arena filtradora hasta la mitad. En la parte inferior externa de esta, se encuentra conectado un grifo por donde saldrá el agua libre de sedimentos después del tratamiento.

Observando los resultados finales, se afirma que la tecnología de dos cubetas es la más eficiente, dado que removió el plomo en un 99.37 %. Este valor está por debajo del ECA agua para el riego de vegetales y bebidas de animales, por lo que es una tecnología que se puede replicar.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó la concentración de plomo que presenta las aguas del canal de irrigación MERYYS, el cual fue de 2.53 mg/l. Dicha concentración supera por mucho al valor estipulado por el ECA agua de la categoría 3 de agua para riego de vegetales y bebida de animales con un valor de 0.05 mg/l.
2. Se identificó la influencia de la masa de coagulante en la comparativa de las tecnologías de dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYYS. Para ello, se trabajó con cantidades de 1.5 g y 5 g. La mejor remoción de plomo se dio a 1.5 g de coagulante para ambas tecnologías. Para dos cubetas, se obtuvo una remoción de 94.78 % y para la RAOS de 65.57 %.
3. Se describió la influencia del tiempo de contacto en la comparativa de las tecnologías de dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYYS, donde se trabajó con tiempos de 2 horas y 3 horas. La mejor remoción de plomo se dio a 3 horas para ambas tecnologías; para dos cubetas, se tuvo una remoción de 68.88 % y para la RAOS de 59.04 %.
4. Se identificó la influencia del pH en la comparativa de las tecnologías de dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo de las aguas del canal de irrigación MERYYS. Para ello, se trabajó con pH de 7 y 9. La mejor remoción de plomo se dio a pH de 7 para ambas tecnologías. Para dos cubetas, se tuvo una remoción de 66.78 % y para la RAOS de 62.90 %.
5. Se comparó la eficiencia de las tecnologías de dos cubetas y la unidad de remoción asistida por luz solar (RAOS) para la remoción de plomo en el agua del canal de irrigación MERYYS del distrito de Sicaya. Se trabajó con la variación de la masa de coagulante de 1.5 g a 5 g, tiempo de contacto de 2 a 3 horas y pH de 7 a 9. Al finalizar, se observó que, a una masa de coagulante de 1.5 g, pH de 7 y tiempo de contacto de 3 horas, se tuvo un 99.37 % para la tecnología de dos cubetas y para RAOS de 85.96 %.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar el tratamiento de RAOS en lugares con mayor incidencia de irradiación solar para observar su eficiencia
2. Realizar una caracterización completa de los contaminantes del canal de irrigación MERYS
3. Realizar mayores estudios sobre la variación del pH, tiempo de contacto y masa de coagulante
4. Realizar mayores estudios sobre la tecnología de las dos cubetas y ampliarlo a la escala piloto

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PANG, Fong, Sheau TENG, Tjoon TENG y A MOHD. Heavy metals removal by hydroxide precipitation and coagulation-flocculation methods from aqueous solutions. *Water Quality Research Journal of Canada* [en línea]. 2009, 44(2), 174–182. [Fecha de consulta: 17 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.2166/wqrj.2009.019
- [2] Organización Panamericana de la Salud [OPS]. *Alternativas Tecnológicas. Agua y saneamiento para la zona rural* [en línea]. 2011. [Fecha de consulta: 17 de julio de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3xzzMLj>
- [3] SPDA. *Desastre ambiental: 67 mil metros cúbicos de relave minero afectaron al río Mantaro* [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3eZT3Pw>
- [4] CAUSSY, Deoraj, Michael GOCHFELD, Eugen GURZAU, Corneliu NEAGU y Heinz RUEDEL. Lessons from case studies of metals: Investigating exposure, bioavailability, and risk. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea]. 2003, 56(1), 45–51. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/S0147-6513(03)00049-6
- [5] BURGER, Mabel y Darío Pose ROMÁN. *Plomo salud y ambiente* [en línea]. Uruguay: Organización Panamericana de la Salud. 2010. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3DF5afv>
- [6] CARRANZA, Freddy. *Evaluación de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano* [en línea]. Tesis de maestría. El Salvador: Universidad de El Salvador, 2015. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/8170/1/13101588.pdf>
- [7] CHÁVEZ, Mary a Maria MIGLIO. Remoción De Arsénico Por Oxidación Solar En Aguas Para Consumo Humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2011, 77(4), 307–314. ISSN 1810-634X.
- [8] PANG, Fong Moi, Sheau Ping TENG, Tjoon Tow TENG y A. K. MOHD OMAR. Heavy metals removal by hydroxide precipitation and coagulation-flocculation methods from aqueous solutions. *Water Quality Research Journal of Canada* [en

- línea]. 2009, 44(2), 174–182. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.2166/wqrj.2009.019
- [9] PANG, Fong Moi, Pradeep KUMAR, Tjoon Tow TENG, A. K. MOHD OMAR y Kailas L. WASEWAR. Removal of lead, zinc and iron by coagulation-flocculation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [en línea]. 2011, 42(5), 809–815. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.jtice.2011.01.009
- [10] LARA, P, D RODRIGUEZ y G PEÑUELA. Application of coagulation by sweep for removal of metals in natural water used in dairy cattle. *Afinidad LXXIV* [en línea]. 2016, 576. [Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/318425/408594>
- [11] JYOTI BORA, Anup y Robin KUMAR. Removal of metals (Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, and Co) from drinking water by oxidation-coagulation-absorption at optimized pH. *Journal of water process en engineering* [en línea]. 2019, 31. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.jwpe.2019.100839
- [12] MA, Yanlin, Zhaoping DENG, Zepeng LI, Quanzhi LIN, Yuhang WU y Weisha DOU. Adsorption characteristics and mechanism for K<sub>2</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>9</sub> whiskers removal of Pb(II), Cd(II), and Cu(II) cations in wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. 2021, 9(5), 106236. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.jece.2021.106236
- [13] XIAO, Xuefeng, Yuanyuan YU, Yongjun SUN, Xing ZHENG y Aowen CHEN. Heavy metal removal from aqueous solutions by chitosan-based magnetic composite flocculants. *Journal of Environmental Sciences (China)* [en línea]. 2021, 108, 22–32. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.jes.2021.02.014
- [14] CHU, Wei. Lead metal removal by recycled alum sludge. *Water Research* [en línea]. 1999, 33(13), 3019–3025. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/S0043-1354(99)00010-X
- [15] MUKHERJEE, Sumona, Soumyadeep MUKHOPADHYAY, Muhammad Zakwan Bin ZAFRI, Xinmin ZHAN, Mohd Ali HASHIM y Bhaskar SEN GUPTA. Application of guar gum for the removal of dissolved lead from wastewater. *Industrial Crops and Products* [en línea]. 2018, 111, 261–269. [Fecha de consulta: 27 de junio de

2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.indcrop.2017.10.022

- [16] IBARRA-RODRÍGUEZ, Diana, Jaime LIZARDI-MENDOZA, Eduardo A. LÓPEZ-MALDONADO y Mercedes T. OROPEZA-GUZMÁN. Capacity of 'nopal' pectin as a dual coagulant-flocculant agent for heavy metals removal. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. 2017, 323, 19–28. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.cej.2017.04.087
- [17] COSME MARTICORENA, Oscar Luis y Erwin Antony ZEVALLOS OSORES. Influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo de una solución acuosa [en línea]. Tesis (título de ingeniero químico industrial). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3Sfst3g>
- [18] CONTRERAS SANABRIA, Katheryn Lizet y Tania Mabel GUTIERREZ MAYTA. *Remoción de plomo de las aguas del efluente minero de Yauli La Oroya utilizando el coagulante de maguey (Agave Americana L.) a nivel de laboratorio* [en línea]. Tesis (título de ingeniero químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015. [Fecha de consulta: 28 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3f0s9Y0>
- [19] CARDENAS JAVIER, Mirko Alberto y Mike Paolo ULLOA ALFARO. *Determinación de capacidad de bioadsorción de plomo divalente empleando Pennisetum clandestinum Hochst (Kikuyo) como adsorbente a nivel laboratorio* [en línea]. Tesis (título de ingeniero químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2013. [Fecha de consulta: 29 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3xvVDbu>
- [20] HUAMÁN PICHARDO, Rocío Anabel. *Evaluación de la adsorción de Cd, Pb y Zn mediante la utilización de la biomasa obtenida de la sábila (Aloe Vera) en soluciones acuosas* [en línea]. Tesis (título de ingeniero químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3RSHR5T>
- [21] ANDOA LLALLICO, Diego Rolando. *Remoción de metales pesados como zinc (Zn), cadmio (Cd) y plomo (Pb) a través de humedal artificial de flujo sub-superficial para agua de consumo humano* [en línea]. Tesis de licenciatura. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2018. [Fecha de consulta: 13 de agosto de 2022].

Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3264232>

- [22] PINILLOS TORRES, Juan Armando. *Remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste* [en línea]. Tesis. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. [Fecha de consulta: 13 de agosto de 2022]. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_77e8250870fb88f9362aeb71a6959a4#details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_77e8250870fb88f9362aeb71a6959a4#details)
- [23] SALAS PALOMINO, Pamela Rosabel y Lizbeth SARCCO VILLANUEVA. *Eliminación de plomo (II) y fierro (II), por bioadsorción con cáscara de naranja (citrus x sinensis) en residuos líquidos procedentes del laboratorio químico de Southern Perú* [en línea]. Tesis (título de ingeniero químico). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2017. [Fecha de consulta: 13 de agosto de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4618/IQsapapr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [24] GUTIÉRREZ MORENO, Susana Mónica. *Estudio de la bioadsorción de cadmio y plomo con biomasa de serratia marcescens m8a-2t, a nivel de laboratorio* [en línea]. Tesis de doctorado. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015. [Fecha de consulta: 23 de agosto de 2022]. Disponible en: [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4126/Guti%c3%a9rrrez\\_ms.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4126/Guti%c3%a9rrrez_ms.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [25] CHIRA FERNÁNDEZ, Jorge Eduardo. *Impacto de los metales pesados del río Mantaro en la aptitud de los suelos agrícolas del sector Jauja-Huancayo, Junín* [en línea]. Tesis de doctorado. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2021. [Fecha de consulta: 23 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17054>
- [26] AGUILAR ASCON, Edwar Alejandro. *Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento del agua* [en línea]. Tesis de maestría. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015. [Fecha de consulta: 21 de agosto de 2022]. Disponible en: [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4303/Aguilar\\_ae.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4303/Aguilar_ae.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

- [27] LA ONU. Resolución A/RES/64/292. El derecho humano al agua y al saneamiento. *Asamblea General de las Naciones Unidas* [en línea]. 2010. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S)
- [28] Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. *Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado* [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <http://www.anda.gob.sv/calidad-del-agua/>
- [29] BARRENECHEA MARTEL, Ada. *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. 2004.
- [30] CATALÁN LAFUENTE, J. *Química del Agua*. 1990.
- [31] RODIER, J. *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. 1989.
- [32] BARRENECHEA MARTEL, Ada y Lidia De VARGAS. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida* [Tomo I]. Lima, 2004.
- [33] BENTINE, K. y E. GOLDBERG. *Historia de contaminación por metales pesados en el sur de la zona costera de California. Medio Ambiente, Ciencia, Tecnología*. 1977.
- [34] Organización Panamericana de la Salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero (en línea). 2005. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: [http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d25/067](http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d25/067%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20mejoramiento%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20a%20nivel%20casero/guia-mejor_agua_metodocasero.pdf) Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero/guia-mejor\_agua\_metodocasero.pdf
- [35] UBILLUS LIMO, Julio. *Estudio sobre la presencia del plomo en el medioambiente de Talara en el año 2003 Características del Plomo*. 2003. [Fecha de consulta: 22 de junio de 2022]. Disponible en: <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias>.
- [36] GONZALES JIMENEZ, Alejandro Eder y Julio Cesar GUERRA MORENO. *Influencia de la velocidad de agitación y la temperatura sobre la adsorción de Plomo (Pb) y Zinc (Zn) con cáscara de plátano (Musa Sapientum), en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico* [en línea]. Tesis de bachillerato.

- Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2016. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1429723>
- [37] LENNTECH. Plomo (Pb) y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud. *Water Treatment Solutions Lenntech*. [en línea]. 2017, 30–31. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/plomo-y-agua.htm>
- [38] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y Organización Panamericana de la salud [CEPIS/OPS]. *Curso de auto instrucción en evaluación de riesgos* [en línea]. 1999. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/tutorial/casos/caso3/plom.html>
- [39] ZEWAİL, T. M. y N. S. YOUSEF. Kinetic study of heavy metal ions removal by ion exchange in batch conical air spouted bed. *Alexandria Engineering Journal* [en línea]. 2015, 54(1), 83–90. [Fecha de consulta: 7 de junio de 2022]. Disponible en: [doi:10.1016/j.aej.2014.11.008](https://doi.org/10.1016/j.aej.2014.11.008)
- [40] PUREPRO. *La osmosis Inversa* [en línea]. 2008. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <http://purepro.com.ve/osmosis.html>
- [41] YOUNOS, Tamim y Kimberly E. TULOOU. Overview of Desalination Techniques. *Journal of Contemporary Water Research & Education* [en línea]. 2009, 132(1), 3–10. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: [doi:10.1111/j.1936-704x.2005.mp132001002.x](https://doi.org/10.1111/j.1936-704x.2005.mp132001002.x)
- [42] CHANG, Raymond. *Química General 7<sup>th</sup>* [en línea]. 2002. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <http://en.scientificcommons.org/48774967>
- [43] AL-MUTAIRI, N. Z., M. F. HAMODA y I. AL-GHUSAIN. Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Bioresource Technology* [en línea]. 2004, 95(2), 115–119. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: [doi:10.1016/j.biortech.2004.02.017](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.017)
- [44] ANDÍA, Yolanda. *Tratamiento de agua coagulación y floculación* [en línea]. 2000. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

- [45] ZHRIM, A. Y., C. TIZAOUI y N. HILAL. Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes: A review. *Desalination* [en línea]. 2011, 266(1–3), 1–16. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.desal.2010.08.012
- [46] CH, Barraque a DEGREMONT. *Manual técnico del agua*. 1979.
- [47] HERNANDEZ SANCHEZ, Melissa Lorena, Helen Carolina RIVAS ZAMORA y Gabriela VENTURA BOLAÑOS. *Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto ( Moringa oleífera Lam .) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano* [en línea]. Tesis (título ingenieras agroindustriales). El Salvador: Universidad de El Salvador, 2017. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2022]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14844/1/13101646.pdf>
- [48] VARGAS, C, Maricruz. y G. ROMERO, L. Desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo. *CIPA- Centro de Investigación en Protección Ambiental*. 2007.
- [49] HENKEN, A .M., VAN DER HEL, W., HOOGERBRUGGE, A. y C.W. SCHEELE. Remoción de materia orgánica por coagulación - floculación. *Ocean Modelling* [en línea]. 2005, 22(3), 261–287. [Fecha de consulta: 19 de junio de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3QMbHry>
- [50] MARTEL, Ada Barrenechea. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. *International Angiology*. 2009, 28(4), 303–310.
- [51] HUNG; WEGELIN, M., D. GECHTER y L. CANONICA. *Arsenic contamination of ground water: Disastrous Consequences in Bangladesh*. 2000.
- [52] CAVIEDES, Diego, Ramiro MUÑOZ, Alexandra PERDOMO, Daniel RODRÍGUEZ e Ivan SANDOVAL. Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región* [en línea]. 2015, 13(1), 73. [Fecha de consulta: 17 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.25054/22161325.710
- [53] HUSSAIN, Sajid, Eleonora ANEGGI y Daniele GOI. Catalytic activity of metals in heterogeneous Fenton-like oxidation of wastewater contaminants: a review. *Environmental Chemistry Letters* [en línea]. 2021, 19(3), 2405–2424. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: doi:10.1007/s10311-021-01185-z

- [54] CHÁVEZ, Mary y María MIGLIO. Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano [en línea]. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea]. 2011, 77(4), 307-314. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v77n4/a08v77n4.pdf>
- [55] ECURED. *Radiación solar* [en línea]. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Radiaci%C3%B3n\\_solar](https://www.ecured.cu/Radiaci%C3%B3n_solar)
- [56] AMBIENTE, Ministerio del. Ley General del Ambiente - Ley N° 28611. 2005, 1–168.
- [57] RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable* [en línea]. Tesis de licenciatura. Medellín: Universidad nacional de Colombia sede Medellín, 2009. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3QUleeS>
- [58] MINISTERIO DE SALUD. *Contaminación ambiental* [en línea]. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.ispch.cl/ambientes-y-alimentos/subdepartamento-del-ambiente/contaminacion-ambiental/>
- [59] DOMÉNECH, Xavier, Wilson F JARDIM a Marta LITTER. 06Cap01. *Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes* [en línea]. 2016, 7–34. [Fecha de consulta: 24 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.psa.es/en/projects/solwater/files/CYTED01/06cap01.pdf>
- [60] SERNARP. Revaloración e importancia del Aguaje en la zona de amortiguamiento del parque nacional cordillera azul. *Cima*. 2012, 1–20.
- [61] GUANIPA, M. *Reflexiones Básicas sobre Investigación*. 2010.
- [62] ESPINOZA, Eudaldo. La hipótesis en la investigación. *Revista de educación* [en línea]. 2018, 16 (1), 122–139. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2022]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/men/v16n1/1815-7696-men-16-01-122.pdf>
- [63] Gobierno Regional de Junín. Memoria descriptiva del estudio hidrobiológico del departamento de Junín. *Ciencias Hidrobiológicas* [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3QXu3pw>
- [64] HERNANDEZ, R a C FERNANDEZ. *Metodología de la investigación*. 2014.
- [65] LARA, P., D. RODRÍGUEZ y G. PEÑUELA. Application of coagulation by sweep

- for removal of metals in natural water used in dairy cattle. *Afinidad* [en línea]. 2016, 73(576), 299–304. [Fecha de consulta: 14 de julio de 2022]. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/318425/408594>
- [66] CUSTODIO, María, Richard PEÑALOZA, Ciro ESPINOZA, Tessy PERALTA-ORTIZ, Alberto ORDINOLA-ZAPATA, Héctor SÁNCHEZ-SUÁREZ a Enedia VIEYRA-PEÑA. Data on the concentration of heavy metals and metalloids in lotic water of the Mantaro river watershed and human risk assessment, Peru. *Data in Brief* [en línea]. 2020, 30. [Fecha de consulta: 16 de julio de 2022]. Disponible en: [doi:10.1016/j.dib.2020.105493](https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105493)
- [67] PANG, Fong Moi, Pradeep KUMAR, Tjoon Tow TENG, A. K. MOHD OMAR a Kailas L WASEWAR. Removal of lead, zinc and iron by coagulation-flocculation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [en línea]. 2011, 42(5), 809–815. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2022]. Disponible en: [doi:10.1016/j.jtice.2011.01.009](https://doi.org/10.1016/j.jtice.2011.01.009)

# **ANEXOS**

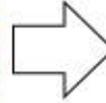
## Toma de muestra



Toma de coordenadas



Toma de muestra



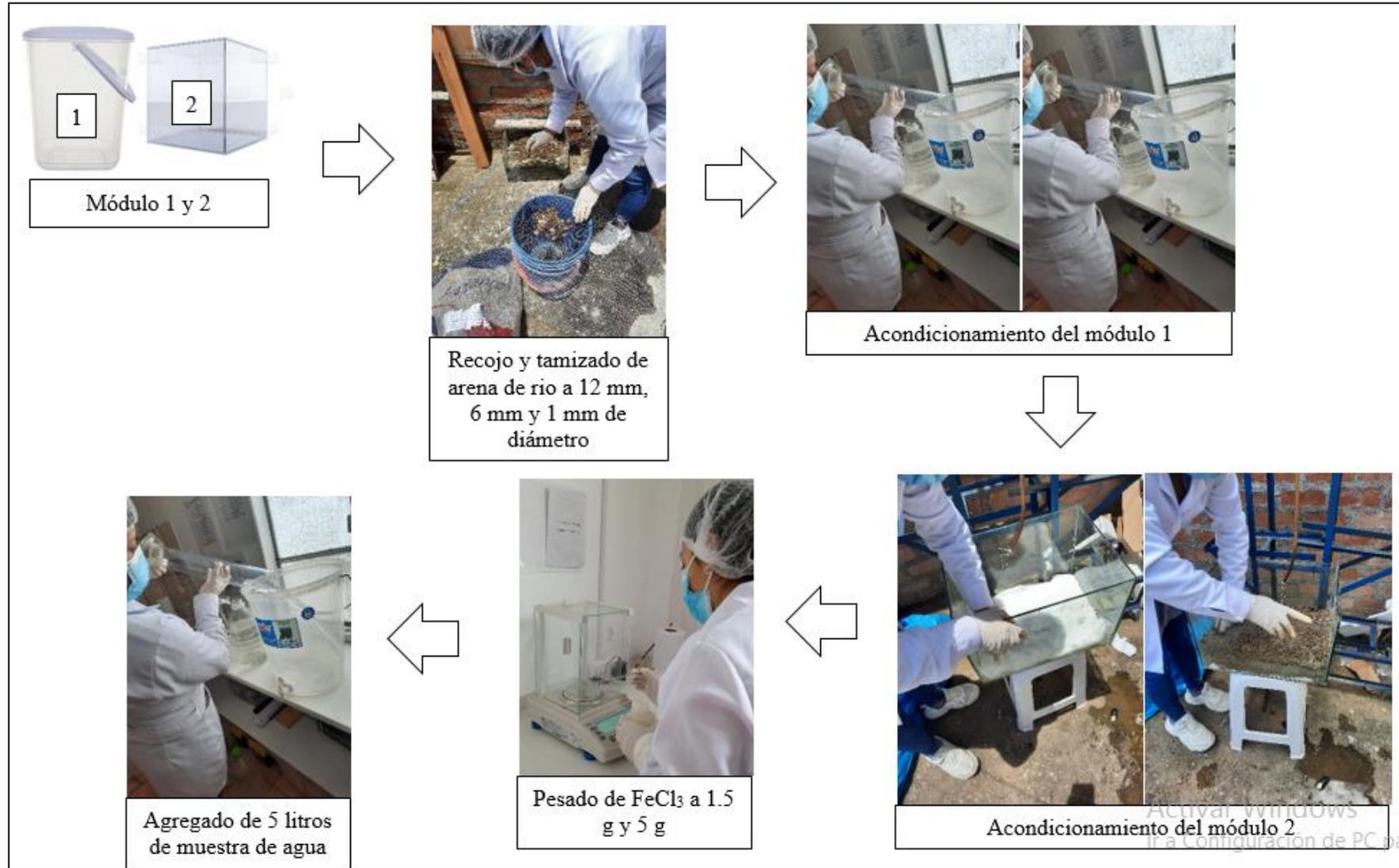
Anotación de los parámetros in situ



Almacenamiento y traslado de las muestras



### Proceso y elaboración de la unidad de tratamiento con dos cubetas





Agregado de lejía



Agregado de las cantidades de  $\text{FeCl}_3$



Variación del pH



Recolección de la muestra para el análisis correspondiente



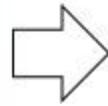
Puesto en marcha de la tecnología de 2 cubetas

**Proceso y elaboración del módulo aplicando el método de Remoción asistida por luz solar (RAOS)**





Agregado de gotas de limón



Variación del pH



Agregado de la muestra ya modificada al modulo



Desarrollo experimental con la variación de tiempos



Recolección de la muestra para el análisis correspondiente

# Reportes



LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES

## INFORME DE ENSAYO N° 1-0035/22

Pág. 1/1

**Solicitante** : Andrea Orihuela Torres  
**Domicilio legal** : Jr. Gonzales Prada N°213- El Tambo  
**Proyecto** : Evaluación de dos metodos para la remoción de plomo en las aguas del canal de irrigación Merys, Junin, 2022  
**Muestra(s) Declarada(s)** : -----  
**Lugar de Muestreo** : -----  
**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 17 muestras x 100 mL  
**Forma de Presentación** : 17 Frascos de Plástico  
**Fecha de Recepción** : 10/03/22  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 11/01/22  
**Fecha de Término del Ensayo** : 11/01/22  
**Fecha de Emisión de Informe** : 11/01/22  
**N° de Cotización de Servicio** : -----



Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Limite de detección
Pb	A0	2.52	0.01

Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Limite de detección
	AM1111R1	0.16	
	AM1112R1	0.01	
	AM1121R1	0.26	
	AM1122R1	0.04	
	AM1211R1	1.76	
	AM1212R1	1.40	
	AM1221R1	1.81	
Pb	AM1222R1	1.68	0.01
	AM2111R1	0.76	
	AM2112R1	0.37	
	AM2121R1	1.39	
	AM2122R1	0.95	
	AM2211R1	1.58	
	AM2212R1	1.09	
	AM2221R1	1.85	
	AM2222R1	1.70	

\*El cliente renuncia al derecho de la dirimencia  
 \*Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente

**Método de Análisis:**

Plomo: APHA AWWA WEF Part 3500-Pb B, 23rd Ed.2017 Lead. Dithizone Method.

**Huancayo, 17 de Enero de 2022**

\*El informe de ensayo sólo es valido para las muestras referidas en el presente informe

\*Prohíbe la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC

\*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

**GRUPO JHACC S.A.C.**  
**Ing. Henry R. Ochoa León**  
 CIP N° 124232  
 JEFE DE LABORATORIO

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

## INFORME DE ENSAYO N° 1-0037/22

Pág. 1/1

**Solicitante** : Andrea Orihuela Torres  
**Domicilio legal** : Jr. Gonzales Prada N°213- El Tambo  
**Proyecto** : Evaluación de dos metodos para la remoción de plomo en las aguas del canal de irrigación Merys, Junin, 2022  
**Muestra(s) Declarada(s)** :  
**Lugar de Muestreo** :  
**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 16 muestras x 100 mL  
**Forma de Presentación** : 16 Frascos de Plástico  
**Fecha de Recepción** : 14/03/22  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 15/03/22  
**Fecha de Término del Ensayo** : 15/03/22  
**Fecha de Emisión de Informe** : 15/03/22  
**N° de Cotización de Servicio** :



Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Limite de detección
Pb	AM1111R2	0.22	0.01
	AM1112R2	0.02	
	AM1121R2	0.25	
	AM1122R2	0.05	
	AM1211R2	1.79	
	AM1212R2	1.47	
	AM1221R2	1.77	
	AM1222R2	1.62	
	AM2111R2	0.74	
	AM2112R2	0.33	
	AM2121R2	1.43	
	AM2122R2	1.06	
	AM2211R2	1.54	
	AM2212R2	1.07	
	AM2221R2	2.05	
	AM2222R2	1.77	

\* Lugar y condiciones ambientales del muestreo. Indicado por el cliente  
 \* El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

**Método de Análisis:**

Plomo: APHA AWWA WEF Part 3500-Pb B, 23rd Ed. 2017 Lead. Dithizone Method.

Huancayo, 21 de Enero de 2022

  
**GRUPO JHACC S.A.C.**  
 Ing. Henry R. Ochoa León  
 CIP N° 124232  
 JEFE DE LABORATORIO

\*El informe de ensayo sólo es valido para las muestras referidas en el presente informe

\*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC

\*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

## INFORME DE ENSAYO N° 1-0039/22

Pág. 1/1

**Solicitante** : Andrea Orihuela Torres  
**Domicilio legal** : Jr. Gonzales Prada N°213- El Tambo  
**Proyecto** : Evaluación de dos metodos para la remoción de plomo en las aguas del canal de irrigación Merys, Junin, 2022  
**Muestra(s) Declarada(s)** : -----  
**Lugar de Muestreo** : -----  
**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 16 muestras x 100 mL  
**Forma de Presentación** : 16 Frascos de Plástico  
**Fecha de Recepción** : 16/01/22  
**Fecha de inicio del Ensayo** : 16/01/22  
**Fecha de Término del Ensayo** : 16/01/22  
**Fecha de Emisión de Informe** : 17/01/22  
**N° de Cotización de Servicio** : -----



Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Limite de detección
Pb	AM1111R3	0.17	0.01
	AM1112R3	0.01	
	AM1121R3	0.32	
	AM1122R3	0.05	
	AM1211R3	1.73	
	AM1212R3	1.32	
	AM1221R3	1.86	
	AM1222R3	1.75	
	AM2111R3	0.68	
	AM2112R3	0.36	
	AM2121R3	1.42	
	AM2122R3	0.95	
	AM2211R3	1.61	
	AM2212R3	1.12	
	AM2221R3	1.72	
	AM2222R3	1.64	

• Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente  
 • El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

**Método de Análisis:**

Plomo: APHA AWWA WEF Part 3500-Pb B, 23rd Ed.2017 Lead. Dithizone Method.

**Huancayo, 21 de Enero de 2022**

**GRUPO JHACC S.A.C**  
**Jrg. Henry R. Ochoa León**  
 CIP N° 18422  
 JEFE DE LABORATORIO

\*El informe de ensayo sólo es valido para las muestras referidas en el presente informe

\*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC

\*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01