



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**"Aplicación de la pectina para la adsorción de plomo
contenidos en aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo,
Arequipa 2022"**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental**

AUTORAS:

Salazar Rada, Maria Mercedes (orcid.org/0000-0001-5029-9512)

Vega Arenas, Clara del Rosario (orcid.org/0000-0002-3002-5087)

ASESOR:

Mg. Montalvo Morales, Kenny Ruben (orcid.org/0000-0003-4403-4360)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Promoción de la salud, nutrición y salud alimentaria

LIMA – PERÚ

2023

Dedicatoria

Dedico mi tesis a mis padres y mi familia porque son lo más sagrado que tengo en la vida, por ser siempre los principales motivadores y los formadores de lo que ahora soy como persona, sin ustedes y sus consejos, su amor y su cariño yo no habría llegado hasta donde estoy. Gracias familia los amo.

Agradecimiento

Han pasado muchos años desde que nací. Desde ese momento e incluso desde antes, ya estabas buscando maneras de siempre darme lo mejor. Has trabajado duro diariamente y sin importar cuan cansado estés siempre me brindaste una sonrisa. Solo me queda agradecerte por todo padre.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Universo, Población, muestra y muestreo.....	17
3.3. Técnicas e instrumentos de gestión de datos	18
3.5. Procedimientos	21
3.6. Método de análisis de datos.....	23
3.7. Aspectos éticos	24
IV. RESULTADOS	25
V. DISCUSIÓN.....	43
VI. CONCLUSIONES.....	47
VII. RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS.....	49
ANEXOS	53

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables.....	14
Tabla 2 Análisis de muestra según parámetro evaluado.....	17
Tabla 3 Variables del proceso de adsorción.....	23
Tabla 4 Diseño experimental. Aplicación de pectina para la adsorción de plomo contenidos en aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo, Arequipa 2022.	24
Tabla 5 Contenido de elementos en solución, determinado por el método de Metales Totales por ICP-MS.	26
Tabla 6 pH del agua de subsuelo de la Quebrada de Coscollo.....	27
Tabla 7 Conductividad de Agua de la Quebrada de Coscollo.	28
Tabla 8 Resultados de la Densidad del agua de la Quebrada de Coscollo.....	28
Tabla 9 Sólidos Totales en las aguas de subsuelo de la quebrada de Coscollo..	29
Tabla 10 Sólidos Totales disueltos de las aguas de subsuelo de la quebrada de Coscollo.	30
Tabla 11 Determinación del porcentaje de humedad de la pectina.....	30
Tabla 12 Resultados del análisis de Cenizas para la pectina.	32
Tabla 13 Resultados referentes al grado de gelificación para la pectina.	34
Tabla 14 Valores de la densidad para la pectina.....	35
Tabla 15 Resultado del pH para la pectina.	37
Tabla 16 Resultado de las concentraciones de plomo.....	38
Tabla 17 Análisis de Varianza (ANOVA) para la concentración final de plomo....	39
Tabla 18 Determinación de la eficiencia por cada prueba ensayada.	42

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación del pozo para el muestreo de agua.	25
Figura 2 Ingreso al pozo.....	25
Figura 3 Toma de muestra del agua subterránea.	26
Figura 4 Pectina antes de entrar a la estufa.....	31
Figura 5 Pectina luego de pasar por la estufa, para el cálculo de humedad.	31
Figura 6 Horno estufa para la determinación de las cenizas.....	32
Figura 7 Crisoles con las muestras de las cenizas de pectina.	33
Figura 8 Retirado de muestras de pectina.	33
Figura 9 Pesado de la pectina.....	36
Figura 10 Muestras de Pectina.....	36
Figura 11 Determinación de pH de la pectina.	37
Figura 12 Preparación de cartucho de pectina izquierda. Preparación del diseño experimental derecha.....	38
Figura 13 Gráfica de dispersión.	40
Figura 14 ANOVA gráfico para la concentración de plomo.	41
Figura 15 Gráfica de interacciones.....	41

Resumen

La pectina es un polisacárido de origen vegetal capaz de gelificar en presencia de agua, esto le permite ganar volumen y posibilidad de adsorber elementos en solución. Es por ello que la presente investigación presenta como objetivo aplicar pectina para la eficiente reducción de plomo contenido en las aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo localizada en San Martín de Socabaya. La metodología de investigación fue tipo aplicado, con un enfoque cuantitativo y diseño experimental. En el cual se determinó la eficiencia de la pectina en la adsorción de plomo, para ello se planteó un diseño experimental de bloques teniendo como variables manipulables la cantidad de pectina (0.25, 0.50 y 1.00 gramos) y el tiempo de contacto (1, 3 y 6 horas). Los resultados indicaron que la concentración inicial de plomo fue de 6570 mg/L y al finalizar el proceso de adsorción de 879 mg/L, lográndose una máxima eficiencia de remoción de plomo de 86.6% en un tiempo de contacto de una hora y una cantidad de pectina en el cartucho de 1 gramo. Así mismo, según el análisis estadístico aplicado ANOVA de las variables empleadas, el tiempo de contacto es más significativa para la variable respuesta (concentración de plomo).

Palabras clave: Aguas subterráneas, Pectina, Adsorción de plomo.

Abstract

Pectin is a polysaccharide of vegetable origin capable of gelling in the presence of water, this allows it to gain volume and the possibility of adsorbing elements in solution. That is why the present investigation presents the objective of applying pectin for the efficient reduction of lead content in the groundwater of the Coscollo ravine located in San Martin de Socabaya. The research methodology was applied type, with a quantitative approach and experimental design. In which the efficiency of pectin in lead adsorption was determined, for this an experimental block design was proposed, having as manipulable variables the amount of pectin (0.25, 0.50 and 1.00 grams) and the contact time (1, 3 and 6 hours). The results indicated that the initial concentration of lead was 6570 mg/L and at the end of the adsorption process it was 879 mg/L, achieving a maximum lead removal efficiency of 86.6% in a contact time of one hour and a quantity of pectin in the 1-gram cartridge. Likewise, according to the statistical analysis applied ANOVA of the variables used, the contact time is more significant for the response variable (lead concentration).

Keywords: Water treatment, Pectin, Heavy metal adsorption

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional según las Naciones Unidas (2022), aproximadamente 2000 millones de personas han registrado que tienen posibilidades de acceder al agua potable en el último lustro, sin embargo, a escala mundial más del 25% de la población no cuenta con el acceso a este servicio. Por otro lado, esta organización internacional menciona que la contaminación del agua por plomo causa cerca de un millón de muertes anualmente esto debido a problemas relacionados con la anemia, hipertensión y toxicidad en los órganos internos. Así mismo, menciona que es importante la identificación de las fuentes de exposición de plomo, de tal manera que se ponga fin a los casos de personas contaminadas con plomo en la sangre.

A nivel nacional, INDECI (2019) indica que en el Perú se han documentado más de 4500 casos de ciudadanos peruanos expuestos a metales pesados, sin embargo, diversos indicadores muestran que estas cifras son relativas puesto que el impacto real de los niveles de contaminación son superiores. De acuerdo a la Plataforma Nacional de Afectados y Afectadas por Metales Tóxicos la cifra más alta de personas expuestas a las sustancias químicas contaminantes se relacionan con el plomo y el mercurio; también indica que aproximadamente doce regiones peruanas son afectadas por contaminación de plomo en los recursos hídricos, debido a ello se exigen políticas, planes nacionales y tecnologías que permitan atender la salud ambiental y humana. Además de la implementación de estrategias multisectoriales para priorizar y detener esta grave problemática. En el Perú se han utilizado múltiples químicos como agentes de coagulación y floculación dentro de los tratamientos de aguas, sin embargo, en años recientes la utilización de pectina, proveniente de diferentes productos, muestra resultados más que óptimos para reducir la turbidez y niveles de contaminación de los efluentes hídricos.

A nivel local, INDECI (2021) indica que desde 2016, se viene observando una contaminación hídrica en diferentes efluentes de la región Arequipa, principalmente en el río Tambo, el cual se vincula directamente con los recursos agropecuarias hidrobiológicos de la provincia de Islay (Arequipa), afectando principalmente a los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Mejía, Mollendo, Islay y la Punta de Bombón, los cuales presentan coloraciones en el agua de color verde, amarillo, naranja intenso y verde – amarillo, así como concentraciones importantes de

metales pesados (arsénico, aluminio y plomo) y microorganismos que superan los LMP (límites máximos permisibles), poniendo en riesgo la salud y recursos económicos de la población aledaña.

Las técnicas actuales de remoción de metales tienen un alto costo y un nivel de complejidad especialmente para soluciones 100 mg. L-1 generando además otros desechos tóxicos, por ello se deben desarrollar nuevas aplicaciones que ayuden a reducir estos metales a un costo accesible para cualquier industria.

Lo expuesto evidencia que es necesario realizar esfuerzos para reducir los niveles de contaminación por plomo en los efluentes arequipeños. Por ello, se decidió analizar el agua de la quebrada de Coscollo en el distrito de Socabaya en ella se analizó todos los metales que contiene el agua de esta quebrada y por medio del uso de la pectina lograr reducir los niveles de contaminación de estos metales. De acuerdo a esta problemática se enuncia el siguiente problema general: ¿Cuál es la eficacia de la pectina, en la absorción del plomo contenido en aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya?

Tras el anterior planteamiento se determinó los problemas específicos: Siendo el primero, ¿Cuáles deberían ser los criterios de caracterización de agua del subsuelo procedente de la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya?, el segundo ¿Cuáles deberían ser las características de la pectina comercial adquirida?, el tercero, ¿A través de qué tipo de tratamiento de adsorción será necesario preparar los cartuchos de pectina?, y el cuarto es ¿De qué manera se determinará la eficiencia de la pectina respecto a la absorción de plomo?

El objetivo general es Determinar la aplicación de pectina para reducir el Contenido de Plomo en las Aguas Subterráneas de la quebrada de Coscollo.

Siendo los objetivos específicos: Caracterizar el agua de subsuelo procedente de la quebrada de Coscollo la cual se encuentra en San Martín de Socabaya. El segundo objetivo específico: Caracterizar la pectina comercial adquirida. El tercer objetivo específico: Preparar los cartuchos de pectina para el tratamiento por adsorción, y el cuarto objetivo específico es: Determinar la eficiencia de la pectina en la absorción de plomo.

Como hipótesis general: Es posible reducir los niveles de plomo de las aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya, con el uso adecuado de la pectina. Las siguientes hipótesis específicas son: A través de la caracterización del agua de subsuelo procedente de la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya será posible determinar la estrategia más adecuada de solución referente a los niveles de contaminación por plomo. La segunda hipótesis específica es que a través de la caracterización de la pectina comercial adquirida será posible conocer las particularidades y métodos de aplicación más adecuados del producto sobre los efluentes señalados. La tercera hipótesis específica es que, a través de la preparación adecuada de los cartuchos de pectina, estos podrán montarse sin inconvenientes en el equipo extractor. La cuarta hipótesis específica, señala que al analizarse las propiedades fisicoquímicas del agua será posible determinar la eficiencia de la pectina en la absorción de plomo.

Como parte de la justificación, en primer lugar, se tiene la justificación social: Puesto que en el Perú existen más de 4500 casos de personas expuestas y contaminadas por metales pesados, siendo el plomo uno de ellos. Estos indicadores muestran que existe un peligro latente en la salud pública de los peruanos, siendo necesario brindar soluciones adecuadas por parte de los investigadores.

En segundo lugar, se tiene la justificación ambiental: Los metales pesados como el plomo son tóxicos para el ambiente, puesto que contaminan las profundidades de los efluentes marinos, se acumulan en las algas y tejidos orgánicos de las especies marinas, lo que provoca una contaminación importante del medio natural, es importante mencionar que los metales pesados contaminan más al no ser biológicamente degradables.

En cuarto lugar, se tiene la justificación teórica: En los antecedentes revisados se pudo constatar que la aplicación de la pectina para el tratamiento de los efluentes hídricos ha tenido éxito, reduciendo de manera importante los niveles de contaminación y turbidez del agua. Debido a ello, esta investigación será un importante antecedente nacional en este ámbito, sentando las bases para futuras investigaciones.

II. MARCO TEÓRICO

A nivel internacional, Kumar (2019) en su tesis de investigación "Orange peel derived natural and modified pectin for the removal of heavy metals from aqueous solution", presents the objective of using natural and modified pectin derived from orange peel for the elimination of heavy metals (Pb^{2+} and Cu^{2+} from aqueous solutions. The methodology was experimental, where both adsorbents were characterized by means of spectroscopic analysis, FTIR and NMR, to later analyze the pH, contact time and the masses of adsorbents from the heavy metal removal process. The results indicated that the 2 types of pectin showed better adsorption at acidic pH, where the maximum adsorption of Cu^{2+} by pectin and modified pectin occurs at 60 and 30 min respectively, while for Pb^{2+} it was obtained at 45 and 60 min by pectin and modified pectin respectively. Likewise, the maximum removal of Cu^{2+} was obtained with an adsorbent mass of 40 mg for pectin and 20 mg for modified pectin. In the case of Pb^{2+} , it was obtained at 40 mg for both pectin and modified pectin.

Arévalo (2021) en su tesis de investigación "Determinación de la capacidad de bioadsorción de metales pesados mediante el uso de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*) en aguas contaminadas" presenta como objetivo determinar la capacidad que tiene la cáscara de maracuyá para la bioadsorción de metales pesados presentes en aguas contaminadas, específicamente el Pb. La metodología fue experimental, donde primero se realizó la fase de la caracterización del bioadsorbente y posterior a esto las pruebas de laboratorio. Los resultados indicaron que usando 0,1 g de bioadsorbente ($250 \mu m$), y un pH óptimo de 4 se obtuvo un % de remoción de 93.97%, así mismo, se obtuvo un % de remoción de 93.93 y 89.71 para una concentración de Pb de 10 y 30 ppm en un tiempo óptimo de 180 y 240 min respectivamente. En conclusión, la cáscara de maracuyá es una opción eficiente para remover Pb de efluentes contaminadas.

A nivel nacional, Laura (2018) en su tesis "Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas residuales del Rio Chili que contienen metales de Pb, As y Cr removidos mediante pectina extraída de la cáscara de naranja, limón y mandarina", presentó como objetivo, caracterizar y evaluar el proceso de remoción de metales pesados contenidos en las aguas superficiales del Rio Chili. Su

metodología de investigación fue del tipo aplicativo, la toma de muestra fue representativa a 3 lugares de la cuenca del Río Chili, posteriormente se aplicó un proceso de floculación – coagulación, el cual fue monitoreado por un test de jarras. Obteniéndose como resultado un % de remoción con la pectina de naranja de 43.13, 17.65 de As y Cr respectivamente, por otro lado, la pectina de limón presento % de remoción de 40.89 de As y 11.76 de Cr, mientras que la biomasa extraída de mandarina tuvo una remoción de 43.64 % de As, 71.95 % de Pb. En conclusión, se obtuvo mejores resultados de la pectina de la mandarina.

Ricardo et al., (2018), en su artículo de investigación “Adsorción de plomo (Pb) de aguas contaminadas mediante cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)”, tuvo como propósito estudiar la factibilidad de la cáscara de plátano como bioadsorbente para remover Pb de las aguas contaminadas. La metodología de investigación se basó en evaluar el período de contacto y tamaño de partícula, obteniendo como resultados una remoción superior a 98% en 30 min. En conclusión, que la biomasa elaborada a partir de las cáscaras de plátano resulto una opción eficiente debido a su capacidad para remover el Pb de efluentes contaminados con dicho metal.

Morales (2020), en su tesis “Optimización del proceso de biosorción de plomo (II) con mesocarpio de toronja (*citrus paradisi var. marsh*)”, tuvo como objetivo optimizar el procedimiento de biosorción de iones Pb utilizando pectina del albedo de la toronja como adsorbente. La metodología y diseño empleada fue mediante MSR (metodología de superficie respuesta) y Box Behnken respectivamente, los cuales fueron validados con ANVA. Los resultados mostraron una remoción de 243,145 mg/g al emplear 0.05 g de pectina, un pH de 3 y 379.92 ppm, es decir, se obtuvo un porcentaje de remoción mayor del 90%. Por otro lado, el promedio de remoción de Pb⁺² fue de 201.887 mg/g, con 0.25 g de pectina, a un pH de 4.5 y 55 ppm de Pb⁺². El autor concluyó que la pectina de toronja es un buen adsorbente para la remoción de Pb⁺² dado que logró remover los iones de plomo sin aplicar enormes cantidades de pectina.

Calixto y Gaona (2019) en su tesis de investigación “Biosorción de Plomo (II) con cáscara de naranja (*citrus cinensis*) aplicado a efluentes acuosos” presenta como objetivo establecer el proceso de Biosorción de Pb (II) de efluentes acuosos, usando cáscara de naranja. La metodología fue experimental, donde se estudió el

proceso de Biosorción de Pb (II) en condiciones ambientales ($T = 25^{\circ}\text{C}$ y $P = 1 \text{ atm}$) de efluentes acuosos proveniente de una solución sintética con una concentración de 100 ppm. El volumen del efluente tratado fue de 4 L y la biomasa de cáscara de naranja empacada en mallas tul poliéster utilizada de 153 g del estudio del proceso se determinó que el equilibrio de Biosorción se alcanzó al cabo de 6 horas logrando un % de remoción de Pb (II) del 91,8 a un pH de 5 y un caudal de 2,2 L/min

Ortiz & Vega (2019) mencionan que los metales pesados son cualquier elemento químico metálico ubicados en la corteza terrestre, con una elevada densidad, y con propiedades tóxicas para los seres humanos. Por otro lado Pujari & Kapoor (2021), indica que estos metales son tóxicos cruciales del medio ambiente debido que son fáciles de acumular y no biodegradables

La contaminación ambiental por metales pesados tales como: Cu, Ni, As, Pb, Cd, etc., son un tema de suma importancia debido que pueden afectar los diferentes ecosistemas acuáticos y terrestres así como el agua, aire y suelo creando un ciclo variable e irreversible de toxicidad, muy aparte de que perjudica la salud de las personas (Slimane & El-Hafid, 2021). Se dice que el plomo comparte alrededor 10% de la contaminación total producida por metales pesados. (Collin et al., 2022).

Collin et al. (2022) menciona que el plomo (Pb) es uno de los metales más importantes, pero altamente nocivo; y a pesar de ser un peligro para el medio ambiente actualmente, este metal es una sustancia química muy utilizada debido a sus múltiples usos derivado de sus propiedades físicas y químicas tales como suavidad, maleabilidad, ductilidad, y resistencia a la corrosión, cualidades que han dificultado abandonar su uso.

La utilización de este metal pesado (Pb) radica principalmente en la elaboración de artículos de consumo como baterías de Pb-ácido, pinturas, pigmentos, colorantes vidrio, juguetes, automóviles, cerámica, tuberías, plásticos, algunos cosméticos, etc. (Collin et al., 2022). Así mismo, las fuentes dominantes de contaminación por Pb derivan también de las operaciones de minería, fundición y reciclaje, dado que estas actividades antropogénicas siempre terminan con aguas residuales con contenido de Pb provocando una contaminación en el agua si es que no es tratada antes de su descarga (Wang et al., 2022)

El agua subterránea es una fuente importante de agua en todo el mundo; su calidad está determinada por las interacciones entre los constituyentes químicos, el suelo, las rocas y los gases dentro del acuífero (Priyadharshini & Marykutty, 2022), sin embargo debido a el Pb liberado en estas aguas y suelo, pueden bioacumularse y biomagnificarse junto con la cadena alimenticia, amenaza la salud humana, interfiriendo con los sistemas biológicos y nervioso en los seres vivos (Wang et al., 2022). Este metal es altamente mortal ya que perjudica a los órganos, sistemas del cuerpo humano, afectando tanto a niños como adultos el sistema nervioso, aunque tiene un mayor efecto en los niños que en los adultos ya que sus tejidos externos e internos son más blandos, entre los efectos del Pb están problemas de comportamiento, déficits de aprendizaje y coeficiente intelectual reducido (Nag & Cummins, 2022). Por otro lado, es conocido que la exposición prolongada al plomo causa anemia, aumento en la presión arterial, daño en los riñones e hígado afectando principalmente ancianos y gente de la mediana edad, ocasionando incluso hasta la muerte. En el caso de las mujeres gestantes, la exposición a este metal puede provocar abortos espontáneos, y en los hombres una reducción en la fertilidad (Collin et al., 2022). Cuando se ingiere o inhala, el primer órgano que se ve afectado debido al Pb es el hígado, diferentes estudios indican que el órgano hepático tiene mayor cantidad de Pb, alrededor del 33%, generando un aumento en cuanto a la producción de AST y ALT por los hepatocitos que a la vez es indicador de inflamación en el hígado y también muerte celular (Renu et al., 2021). Además, el Pb está categorizado como un posible carcinógeno humano en el Grupo 2 B según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), donde los compuestos inorgánicos del Pb están en el Grupo 2 A (probables carcinógenos humanos) (Wang et al., 2022).

Es por ello que, debido a su nocividad, la (EPA, 2022), lo ha incluido dentro de las sustancias químicas más perjudiciales para la salud humana, estableciendo un límite máximo de cero en el agua potable.

Debido a que la eliminación de iones Pb^{2+} de las corrientes de desechos es fundamental, se han desarrollado varias tecnologías para el tratamiento de metales pesados antes de su liberación al medio ambiente (Esmaeili Bidhendi et al., 2023). Se han desarrollado tecnologías emergentes que incluyen adsorción, filtración por

membrana, coagulación/floculación, oxidación/reducción, extracción mediante solventes, procesos de membrana, intercambio iónico y tratamiento biológico para minimizar las descargas de aguas residuales y mitigar los peligros de los contaminantes (Saravanan et al., 2021).

Los contaminantes de metales pesados como el plomo en las aguas subterráneas y/o residuales industriales, generalmente no se descomponen mientras se mueven, por el contrario pueden convertirse en otros modos de ocurrencia. Las diversas formas existentes de elementos de metales pesados en el suelo, así como los diferentes entornos físicos y químicos, a menudo conducen a grandes diferencias en las medidas de eliminación. Es por ello que como método para suprimir estos metales de las aguas, el tratamiento de adsorción presenta características adecuadas para llevar a cabo esta remoción, debido a su alta eficiencia, sin contaminación secundaria, operación simple y bajo consumo de energía, mostrando perspectivas de aplicación favorables (Bai et al., 2022).

La adsorción es un método convencional y eficaz que proporciona una gran superficie para adsorber metales pesados de las aguas residuales. Este proceso consiste en una fase sólida conocido como adsorbente la cual se pasa a través de las aguas residuales que contienen metales, siendo estos metales selectivos adsorbidos por el adsorbente quedando en la superficie desde donde pueden ser recogido por separado. Una vez que el metal es recogido del adsorbente, este puede ser regenerado por el proceso de desorción (Dutta et al., 2021). El adsorbente se puede obtener a partir de desechos agrícolas, subproductos de industrias y sustancias naturales, como el carbón activado uno de los más utilizados (Sanchez et al., 2020). Otros ejemplos de adsorbentes son: cáscara de arroz, médula de fibra de coco, piel de naranja, zeolita, aserrín, nanotubos de carbono, cenizas volantes, etc. (Dutta et al., 2021).

Por otro lado según Lessa et al. (2020), los materiales compuestos a base de polisacáridos y derivados han sido ampliamente referidos en la literatura como adsorbentes eficientes y de bajo coste en el tratamiento de aguas residuales ya que son capaces de adsorber iones metálicos, colorantes, compuestos orgánicos y otros contaminantes del agua. Además, las capacidades de reciclaje y reutilización

que exhiben estos materiales y los aspectos ecológicos relacionados con su diseño son atractivos desde la perspectiva funcional, económico y medioambiental.

Uno de los más importantes polisacáridos es la pectina, la cual está conformada por un conjunto de enlaces α -1,4 de ácido D-galacturónico ramificados con 12 tipos de azúcares neutros a través de al menos 22 enlaces glucosídicos diferentes (Gawkowska et al., 2018). Desde un punto de vista químico, los principales grupos funcionales en las cadenas moleculares de pectina son grupos ricos en electrones, como los grupos hidroxilo, carboxilo y acilamino que además son hidrófilos (Li et al., 2021), siendo esta buena hidrofilia la que provoca que las pectinas tengan una mejor degradabilidad que la celulosa, el quitosano y alginato de sodio, siendo un índice importante de los adsorbentes. Desde la perspectiva de la teoría de la colisión de la pectina, la estructura de la cadena molecular regular conduce a su cristalización que restringe el libre movimiento de la cadena y reduce la posibilidad de reacción de coordinación como resultado, es decir la pectina presenta una mala cristalinidad lo cual es ventajoso en la eliminación de contaminantes (Li et al., 2022).

Este polisacárido es usualmente extraído de los tejidos vegetales y frutales inmaduros en los cuales se encuentra la Protopectina, la cual abunda en las membranas y paredes celulares (Aguilar & Flores, 2018). Donde debido a sus características de gelificantes, estabilizantes y espesantes este polisacárido presenta una variedad de utilidades en la industria de alimentos donde es usado como aditivo en las mermeladas, mayonesas, almíbares, jarabes, bebidas, etc.; en la industria farmacéutica es usado para la fabricación de cicatrizantes, inhibidores de lipasas, anti-úlceras, metástasis, colesterol, antioxidantes, antiinflamatorios, y en el tratamiento de cáncer mediante la apoptosis (Lin et al., 2021) & (Chandel et al., 2022). En la industria cosmética es utilizada en formulación de productos como cremas, pomadas, pasta de dientes, entre otros (Serrat et al., 2018).

La estructura de la pectina depende del origen de obtención, del tejido (vegetal o frutal), fase de desarrollo, índole ambiental de extracción y localización (Mejia et al., 2019). Las pectinas comerciales hoy en día obtenidas de las cáscaras de frutas, en particular de los cítricos, que debido a sus propiedades se han estudiado como adsorbentes de contaminantes, presentando una elevada destreza en la adsorción

de metales, ya que contiene grupos carboxílicos, que en su forma aniónica atrae especies catiónicas como los metales (Valerio et al., 2021).

Con respecto a la capacidad de adsorción a base de la pectina, según Wang et al., (2019), la suficiencia de adsorción de la pectina hacia los metales pesados dependen de su origen, por ejemplo la capacidad de adsorción de Pb^{2+} por pectina de cítricos, nopal y manzana fue de 176, 26.6 y 148 mg/g respectivamente. Por otro lado, el mecanismo de adsorción entre el metal pesado y las moléculas de pectinas, que se da mediante la formación de regiones de unión específica definidas como "caja de huevo" en donde el mecanismo de "huevera" asume que varios carboxilos libres, grupos de GalA presentados en el servicio de cadena de pectina como sitios de unión forman enlaces con el metal pesado. Sin embargo, también hay otros mecanismos posibles, como el mecanismo por el cual la afinidad por los metales puede estar asociada con la formación de pectatos. Los cuales se forman por la unión de iones metálicos con pectina a través de grupos carboxílicos de GalA y/o hidroxilo grupos de matriz de polisacáridos, esta formación podría lograrse mediante un mecanismo de intercambio iónico y complejación.

Wang et al. (2019) señala que los factores de mayor influencia en la adsorción de la pectina son: el pH, efecto de la fuerza iónica y los aniones, tiempo de adsorción, la temperatura y el efecto de las concentraciones iniciales. El pH es un factor esencial que influye en el rendimiento de los productos a base de la pectina como absorbente hacia la adsorción de un metal pesado, ya que a valores bajos de pH <4 , las capacidades de unión con el metal de adsorción son mínimas ya que la pectina tiene una fuerte dependencia del pH, donde un bajo valor de este facilitara la protonación de los grupos carboxilo, contribuyendo a una inversión de carga y una disminución de la actividad de unión de iones metálicos. Por el contrario, al tener un alto pH (usualmente pH > 8), la pectina suele ser inestable debido a la β -eliminación y la influencia de fuerza iónica que se traduce en una competencia de Na^+ con metales pesados para la unión electrostática a la pectina como un ion "duro" típico, donde el Na^+ prefiere atraerse electrostáticamente con la pectina cargada negativamente en lugar de formar fuertes enlaces coordinados. Otro factor importante, es el tiempo de adsorción, donde a mayor de adsorción mayor será la remoción del metal pesado.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El estudio fue **de tipo aplicado**, debido a que el objetivo de esta investigación era entender la problemática actual en relación a datos reales, por lo cual se debió considerar la descripción y correlación entre las variables de investigación (independiente, dependiente) dentro del contexto en donde se sitúa la investigación (Alvarez, 2022).

Para este caso específico la meta de esta investigación fue determinar como la aplicación de la pectina influye en los niveles de adsorción de plomo contenidos en las aguas subterráneas procedentes de la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya. Considerando que se trató de una investigación aplicada, cada uno de los objetivos específicos tuvieron como finalidad otorgar respuestas o interpretar las evidencias relacionadas con el objetivo de la investigación, los cuales fueron adecuadamente planteados.

Esta investigación tuvo un **enfoque cuantitativo** debido a que se buscó entender las relaciones de causa - efecto entre las variables dependientes e independientes a través de resultados expresados de forma numérica o gráfica, considerando patrones, promedios o correlaciones. Bajo este enfoque se consignaron los diferentes experimentos que a su vez se fundamentaron en la hipótesis y pruebas relacionales de causa – efecto acorde con lo seguido por Hernández-Sampieri & Mendoza (2019).

El diseño de investigación **fue experimental**, considerando la posición de control por parte del investigador, se manipularon adrede una o varias variables causantes (independientes) para el estudio de las consecuencias en las variables efecto (dependientes) (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2019)

3.2. Variables y operacionalización

Variable dependiente: Eficiencia de adsorción de plomo

Descripción conceptual

La eficiencia de adsorción de plomo está expresada en función del tiempo y la concentración final de plomo después del proceso de adsorción (González-López, 2022).

Descripción operacional

La eficiencia de adsorción de plomo se determinó por la siguiente ecuación:
Eficiencia (%) = $(C_0 - C) / C_0 \times 100$

Variable dependiente: Características del agua después del proceso de adsorción

Descripción conceptual

Consiste en determinar los atributos del agua tratada, con el objeto de conocer si el proceso de Adsorción con pectina conlleva a la reducción del contaminante para obtener agua con características diferentes (Torres, 2019).

Descripción operacional

Se definió mediante un estudio de los parámetros físico-químicos del agua tratada como densidad, conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, sólidos totales disueltos y la concentración final de plomo.

Variable independiente: Caracterización del agua de subsuelo de la quebrada de Coscollo de San Martín de Socabaya

Descripción conceptual

Consiste en determinar los atributos del agua contaminada, con el objeto de conocer si el proceso de Adsorción con pectina conlleva a la reducción del contaminante para obtener agua con características diferentes. (Ríos ,2020)

Descripción operacional

Se definió mediante un análisis de las características físico-químicas del agua a tratar como densidad, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos totales disueltos y concentración inicial de plomo.

Variable independiente: Pectina comercial

Descripción conceptual

La pectina es un tipo de homopolisacárido, el cual está conformado por ramificados polímeros ácidos como neutros. Este homopolisacárido es el componente principal de la pared celular primaria de los vegetales, constituyendo hasta el 30% del peso seco de estas (Cruz, 2018).

Descripción operacional

Las características físico-químicas de la pectina comercial se analizaron mediante pH, humedad, ceniza, tiempo de gelificación e índice de yodo.

Variable independiente: Proceso de adsorción

Descripción conceptual

La adsorción es la transferencia de sustancias orgánicas desde una fase líquida a la superficie de una fase sólida, en este proceso se adhieren las moléculas, átomos de la sustancia (gas, líquido o sólido) a la superficie del adsorbente (Hu & Xu, 2020).

Descripción operacional

Las condiciones óptimas del proceso de adsorción de plomo con pectina comercial permitieron obtener altas eficiencias de eliminación del contaminante en aguas subterráneas.

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Eficiencia de adsorción de plomo	La eficiencia de adsorción de plomo es un parámetro crítico que determina cuánto plomo se elimina dependiendo de la dosis de pectina (González-López, 2022).	La eficiencia de adsorción de plomo, se determinó mediante la siguiente ecuación (Cerna & Elías, 2015): $\frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$	Condiciones de la solución: como el pH, la fuerza iónica y la concentración del adsorbato	Concentración inicial de plomo Concentración final de plomo	mg/L mg/L Numeral
Caracterización del agua después del proceso de adsorción	Consiste en determinar los atributos del agua tratada, con el objeto de conocer si el proceso de Adsorción con pectina conlleva a la reducción del contaminante para obtener agua con características diferentes (Torres, 2019)	Se definió mediante un análisis de los parámetros físico-químicos del agua tratada como densidad, conductividad Eléctrica, sólidos totales	Parámetros físicoquímicos	Densidad pH Conductividad Eléctrica Sólidos totales disueltos Concentración final de plomo	g/cm ³ - μS/cm mg/L mg/L mg/L Numeral

disueltos, concentración final de plomo.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA	
Caracterización del agua de subsuelo de la quebrada de Coscollo de San Martín de Socabaya	Consiste en determinar los atributos del agua contaminada, con el objeto de conocer si el proceso de Adsorción con pectina conlleva a la reducción del contaminante para obtener agua con características diferentes (Ríos, 2020)	Se definió mediante un análisis de las características físico-químicas del agua a tratar como densidad, conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, sólidos totales disueltos, concentración inicial de plomo.	Caracterización fisicoquímica	Densidad pH Conductividad Eléctrica Sólidos totales Sólidos totales disueltos Concentración inicial de plomo	g/cm ³ - μS/cm mg/L mg/L mg/L	Numeral
Pectina comercial	La pectina es un tipo de homopolisacárido, conformado por ramificados polímeros ácidos y neutros. Este homopolisacárido es el componente principal de la	Las características físicas químicas de la pectina comercial se analizaron mediante pH, humedad, ceniza,	Caracterización fisicoquímica	pH Humedad Ceniza °Brix Tiempo de	- % % Grados Min	Numeral

pared celular primaria de los vegetales, constituyendo hasta el 30% del peso seco de estas (Cruz, 2018).

gelificación
Índice de Yodo
gramos
de yodo
por 100
g de
muestra

Proceso de adsorción	La adsorción es la transferencia de sustancias orgánicas desde una fase líquida a la superficie de una sólida, en este proceso se adhieren moléculas, átomos de la sustancia (gas, líquido o sólido) a la superficie del adsorbente (Hu & Xu, 2020).	Las condiciones óptimas del proceso de adsorción de plomo con pectina comercial permitieron obtener altas eficiencias de eliminación del contaminante en aguas subterráneas.	pH Tiempo de adsorción	1 - 14 4- 6	- h	Nume ral
----------------------	--	--	---------------------------	----------------	--------	-------------

Nota: Elaboración propia

3.3. Universo, Población, muestra y muestreo

El Universo: Estuvo formado por la cuenca del Rio Chili, que corresponde a toda agua subterránea que pasa por la ciudad de Arequipa Peña (2018).

Población: Estuvo constituida por toda la capa freática de agua que pasa por el distrito de Socabaya.

Muestra: Se consideró el agua recolectada en la quebrada de Coscollo, el volumen de muestra total se recolecto de acuerdo con la metodología de Martínez y Coronado (2016) realizada por mes de estudio. Es así que en el caso sean 6 meses de estudio el total de muestra deberá ser de 2600 ml, utilizándose luego en partes iguales (1300 ml) para realizar las evaluaciones de pre y post prueba. La cantidad se adaptó de acuerdo al tiempo total que tomó el estudio. En la siguiente tabla se muestran los volúmenes de muestra para cada parámetro evaluado.

Tabla 2

Análisis de muestra según parámetro evaluado.

Parámetro	Tipo de frasco	Volumen de muestra (ml)
Densidad	Plástico	100
pH	Plástico	100
Conductividad Eléctrica	Plástico	500
Sólidos totales disueltos	Plástico	100
Concentración final de plomo	Plástico	500
Sólidos totales	Plástico	100

Nota: Adaptado de Martínez y Coronado (2017)

3.4. Técnicas e instrumentos de gestión de datos

Las técnicas utilizadas fueron:

3.4.1. Caracterización del agua de subsuelo antes y después del proceso de adsorción.

Para realizar esta caracterización se realizó un análisis de los parámetros físico-químicos del agua tratada, evaluándose características como: la densidad, pH, conductividad Eléctrica, sólidos totales, sólidos totales disueltos y concentración final de plomo.

a.1. Determinación de pH

- Primero, se utilizó un recipiente limpio de tal manera que se aseguraron los resultados, ya que cualquier partícula de suciedad podría haber interferido y/o alterado la medición.
- Se separó una cinta de papel peachímetro que posteriormente fue utilizada para la medición.
- Se introdujo la cintilla en la muestra líquida hasta que se humedeció, el tiempo puede variar de 20 segundos hasta 1 hora según la marca de peachímetro que utilizada.
- Se retiró la cintilla de la muestra luego de haber pasado el tiempo necesario.
- Finalmente, se procedió con la comparación de la cintilla húmeda con la tabla de colores proporcionada determinando así el valor de pH, generalmente la acidez está representada por tonalidades cálidas como rojo, anaranjado y similares, mientras que la alcalinidad suele relacionarse con tonalidades frías, azul, plomo, verde y otros

a.2. Determinación de la Conductividad

La toma de muestras se llevó a cabo conforme con la metodología establecida para la recolección de aguas de tipo subterráneo, dicha metodología señalaba que:

- La muestra debía recolectarse en frascos de vidrio o plástico, y con respecto a la recepción, manipulación y disposición final debían seguirse las instrucciones de laboratorio.
- De preferencia cada muestra debe analizarse de forma inmediata en campo puesto que las aguas puras y aquellas que están en desequilibrio con el ambiente suelen experimentar variaciones, bajo esta razón los frascos tienen que ser llenados por completo y cerrados de manera hermética hasta su análisis, el cual puede realizarse dentro de un plazo máximo de 28 días.

a.3. Determinación de los Solidos totales

Para la determinación de ST se llevó a cabo el método 2540-B considerando un intervalo de secado 103° a 105°C.

- Primero, el crisol se calentó a temperaturas de 103° o máximo 105°C por 60 minutos.
- Luego, el crisol fue colocado dentro de un desecador hasta su posterior uso.
- Se seleccionó una cantidad representativa de muestra y capaz de proporcionar como residuo de 2.5 a 200 mg.
- Se pesó la cantidad de muestra previamente seleccionada y transfiriéndola luego al crisol, la muestra se sometió a evaporación dentro de un horno o baño vaporizado. El método señala que, si se realiza la evaporación dentro de un horno, la temperatura debía bajarse 2°C con respecto al grado de ebullición, 100°C, a fin de que la muestra no salpique.
- Posteriormente la muestra evaporada se secó a 103° o 105°C por un lapso de 60 minutos dentro del horno de secado.
- Se retiró el crisol del horno y colocarlo en el desecador hasta que la temperatura se mantuvo constante.
- Finalmente se registró el peso del crisol con la muestra para los posteriores cálculos.

a.4. Determinación de los Solidos totales disueltos

- Se lavaron varios microfiltros utilizando agua desionizada esto con el propósito de retirar las partículas sólidas que pudiesen haber quedado durante su fabricación. Luego del lavado, los microfiltros se colocaron en el horno a 104°C durante media hora, finalizado dicho tiempo se colocaron dentro del desecador junto a sus envases para después determinar el peso promedio.

Tras realizar el procedimiento anterior se procedió recién con la determinación de los SST:

- Primero, se filtró 100 ml (muestra) empleando para ello los filtros previamente tratados.
- Se colocó los filtros con muestra junto a sus envases dentro de un horno, el cual fue programado a 104°C por 60 minutos.
- Finalizado el tiempo se retiraron los filtros del horno, colocándolos luego en el desecador.
- Después del desecador los filtros fueron pesados, la operación de pesaje se realizó más de una vez determinado así el peso medio de los SST.

4. Caracterización la pectina comercial

Para realizar esta caracterización se realizó un análisis de los parámetros fisicoquímicos de la pectina comercial, evaluándose las características como: pH, humedad, ceniza, tiempo de gelificación.

5. Proceso de adsorción

- Se prepararon soluciones sintéticas de acetato de plomo (1 ppm) de 1 g de plomo en 1000 ml de agua destilada regulada a pH mayor a 10,5.
- Después se pesó 0.25, 0.5 y 1.0 g de pectina y se armó los cartuchos correspondientes para cada experiencia adicionándole 100 mL de solución sintética.
- El proceso tomo un tiempo de 60, 180 y 360 min., luego de lo cual cada solución paso por filtración. Posteriormente se tomó alícuotas para la determinación de concentración de plomo misma que se llevó a cabo en

los Laboratorios Analíticos del Sur (Arequipa) con el método de ensayo acreditado ***EPA-METHOD 200.8 Rev 5.4 Determination of trace elements in wáter and wastes by inductively coupled Plasma-Mass spectrometry.***

La capacidad de adsorción de la pectina (q_t , mg/g) se calcula con la ecuación:

$$q_t(\text{mg/g}) = \frac{(C_i - C_f)V}{m}$$

Donde V es el volumen total de solución (L), C_i y C_f son las concentraciones de plomo al inicio y final respectivamente (mg/L), y m es la cantidad de pectina en base seca (g).

Así mismo se utilizó el aplicativo Google Earth para la observación directa de la zona de estudio, así como la revisión bibliográfica, datos de prueba de análisis, mientras que el internet sirvió como herramienta de búsqueda informativa.

3.5. Procedimientos

Objetivo específico 1: Caracterización del agua del subsuelo procedente de la quebrada de Coscollo.

- Se analizó la densidad del agua, utilizando para ello un densímetro (aerómetro), el cual fue introducido verticalmente en el líquido para dejarlo en reposo y observándose posteriormente a través de una escala graduada su nivel de hundimiento en el líquido.
- Se analizó el pH a través de sustancias indicadoras de color, papel tornasol el cual cambia de color en un intervalo estrecho de valores de pH.
- Se analizó la conductividad eléctrica a través de medidores de conductividad portátiles.
- Finalmente, se analizó los sólidos totales en el agua a través de un conductímetro.

- Se analizó la concentración de plomo en agua mediante espectrofotometría en un laboratorio, el laboratorio fue LAS – “Laboratorios Analíticos del Sur”

Objetivo específico 2: Caracterización de la pectina comercial adquirida

- Se analizó el pH a través de sustancias indicadoras de color como papel tornasol el cual cambia de color en un intervalo estrecho de valores de pH.
- Seguidamente se analizó la humedad y ceniza, llevando las muestras a una estufa donde para la pérdida de agua en el caso de la humedad, mientras que para determinar las cenizas la muestra fue expuesta a mayor temperatura.
- Se analizó el tiempo de gelificación e índice de yodo de acuerdo al peso equivalente y el tiempo (minutos).

Objetivo específico 3: Preparación de los cartuchos de pectina para el tratamiento por adsorción.

- Se preparó el papel filtro, el cual será dispuesto en forma cilíndrica.
- La pectina fue colocada dentro del cilindro de papel filtro.
- Se cerró el cilindro con la pectina adentro, constituyendo así el cartucho.
- Posteriormente el cartucho fue colocado en vasos de precipitado llenados con la muestra de agua de subterránea.

Objetivo específico 4: Determinar la eficiencia de la pectina en la absorción de plomo.

- Primero se determinó la concentración inicial de plomo (mg/L)
- Luego se determinó la concentración final de plomo (mg/L)
- Por último, se comparó y evaluó la eficiencia de la adsorción de plomo por la pectina.

3.6. Método de análisis de datos

El análisis de la data vinculada con la eficiencia de adsorción de plomo estará dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia (\%)} = Co - \frac{C}{Co} \times 100$$

En donde:

CO: representa la concentración de plomo antes del proceso.

C: representa la concentración de plomo luego del proceso.

Diseño experimental

De acuerdo con el tipo de investigación el diseño utilizado fue completamente aleatorizado. Evaluándose el efecto del peso de pectina y tiempo de adsorción sobre la eficiencia de adsorción de plomo (Tabla 3). En cuanto al tratamiento estadístico de los datos, así como la optimización de las variantes del tratamiento experimental para la adsorción de plomo se evaluaron mediante el programa Statgraphics centurión 19[®]. En la tabla 4 se muestra el diseño experimental.

Tabla 3

Variables del proceso de adsorción.

Factores	Etapa	Variables	Niveles		
			1	2	3
A	Proceso de adsorción	Peso de pectina (g)	0.25	0.50	1.00
B		Tiempo de adsorción (h)	1	3	6

Nota: Elaboración propia

Tabla 4

Diseño experimental.

Variable 1	Variable 2	Número de resultado
Peso de pectina (g)	Tiempo de adsorción (h)	
0.25	1	1
0.25	3	2
0.25	6	3
0.50	1	4
0.50	3	5
0.50	6	6
1.00	1	7
1.00	3	8
1.00	6	9

Nota: Elaboración propia

3.7. Aspectos éticos

La presente investigación utilizó protocolos estructurados para alcanzar sus objetivos propuestos, los cuales fueron validados por los expertos correspondientes. El diseño de investigación se elaboró cuidadosamente y con rigor considerando las normas vigentes, produciendo resultados importantes y optimizando en todo momento los recursos disponibles. Todos los investigadores del presente estudio participaron de forma activa rigiéndose estrictamente bajo la ética y honestidad en el desarrollo de la presente investigación.

IV. RESULTADOS

4.1 Caracterización del agua

Ubicación de la muestra de agua

El punto de muestreo o recolección de agua, se encuentra ubicado en la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya de Arequipa de acuerdo a las siguientes coordenadas -16.44361, -71.52552.

Figura 1

Ubicación del pozo para el muestreo de agua.



Nota: Extraído de Google Earth.

El agua subterránea aflora en un pozo a unos 5 metros aproximados de profundidad respecto al nivel del terreno, tal como se aprecia en la figura 3.

Figura 2

Ingreso al pozo.



Nota: Elaboración propia

En la figura 2 se muestra el ingreso al pozo, donde se puede apreciar la vegetación debido a la presencia del agua.

Figura 3

Toma de muestra del agua subterránea.



Nota: Elaboración propia

Caracterización de traza de metales del agua subterránea

En la tabla 5 se detalla el contenido de elementos metálicos presentes en el agua de subsuelo, exclusivamente en el contenido de plomo del cual se registró un total de 6.57 mg/L.

Tabla 5

Contenido de elementos en solución, determinado por el método de Metales Totales por ICP-MS.

N	Metales totales	mg/L	N	Metales totales	mg/L
1	Plata	0.167	19	Plomo (Pb)	6570
2	Aluminio	106.95	20	Antimonio (Sb)	0.478
3	Arsénico	27.524	21	Selenio (Se)	<0.33
4	Bario (Ba)	70.070	22	Torio (Th)	0.085
5	Berilio (Be)	0.061	23	Titanio (Ti)	0.045
6	Calcio (Ca)	>50000	24	Uranio (U)	0.509
7	Cadmio (Cd)	0.272	25	Vanadio (V)	6.174
8	Cobalto (Co)	2.164	26	Zinc (Zn)	198.59

9	Cromo (Cr)	8.72
10	Cobre (Cu)	170.608
11	Hierro (Fe)	2681.7
12	Mercurio (Hg)	0.238
13	Potasio (K)	>50000
14	Magnesio (Mg)	>50000
15	Manganeso (Mn)	172.095
16	Molibdeno (Mo)	28.811
17	Sodio (Na)	>50000
18	Niquel (Ni)	141.555

Nota: Elaboración propia

Determinación de pH

De acuerdo con la Tabla 6 el pH registrado fue neutro, teniendo en cuenta que el pH es un indicador del nivel de alcalinidad o acidez de una solución en fase líquida o acuosa, los valores se establecen entre 1 a 14 considerándose el valor de 7 como neutro, los valores mayores a este son considerados como soluciones básicas mientras que los valores menores son ácidos.

Tabla 6

pH del agua de subsuelo de la Quebrada de Coscollo.

Nro.	Medida de pH	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1	7.00		
2	7.00	0	0
3	7.00		

Nota: Elaboración propia

Determinación de conductividad eléctrica CE

Con la conductividad se determinó la cantidad de sales disueltas, y con los resultados se pudo definir la dureza del agua, donde si sobre pasa valores de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se considera aguas muy duras.

Tabla 7*Conductividad de Agua de la Quebrada de Coscollo.*

Nro.	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1	2008.00		
2	2020.00	6.43	0.00
3	2018.00		
Promedio	2015.33		

Nota: Elaboración propia

La Tabla 7 presenta los valores resultantes de conductividad; la conductividad fue superior a los 800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ por lo que el agua de la Quebrada de Coscollo se definió como agua muy dura.

Determinación de la Densidad

La densidad se determinó considerando la relación entre la masa y volumen.

Tabla 8*Resultados de la Densidad del agua de la Quebrada de Coscollo.*

Nro.	Peso del picnómetro vacío	Peso del picnómetro + muestra	Volumen de la muestra	Densidad	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1	31.730	81.300	50.000	0.991		
2	31.670	81.230	50.000	0.991	0.000	0.000
3	31.690	81.270	50.000	0.992		
			Promedio	0.991		

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con lo mostrado en la tabla 8, la densidad del agua de subsuelo de la Quebrada de Coscollo fue menor a 1, muy próxima a la densidad del agua normal.

4.1.1. Determinación de Sólidos Totales ST

La cantidad de sólidos totales fueron determinados a través de la ecuación siguiente.

$$TS(\text{mg/L}) = \frac{m_f - m_0}{V} \times 10^6$$

Dónde m_0 es el peso final en g, m_f es el peso inicial en g y V es el volumen de muestra en L. Los resultados se expresaron en unidades de mg/L.

Tabla 9

Sólidos Totales en las aguas de subsuelo de la quebrada de Coscollo.

Nro.	Peso del recipiente vacío	Peso inicial del recipiente + muestra	Peso final del recipiente + muestra	ST (mg/L)	Desviación estándar	Coficiente de variabilidad
1	79.64	122.80	79.70	862000.00		
2	79.61	127.31	79.66	953000.00	64547.76	0.07
3	80.97	122.40	80.99	828200.00		
			Promedio	881066.67		

Nota: Elaboración propia

La cantidad de sólidos totales en las muestras de agua subterránea de acuerdo con la Tabla 9 resulto entre 828200 mg/L y 953200 mg/L, evidenciándose una diferencia significativa entre los datos de las tres muestras

4.1.2. Determinación de Sólidos Totales Disueltos

La cantidad de sólidos totales disueltos fueron determinados bajo la ecuación siguiente:

$$TDS(\text{mg/L}) = \frac{m_f - m_0}{V} \times 10^6$$

Dónde m_0 es el peso final en g, m_f es el peso inicial en g y V es el volumen de muestra en L. Los resultados son expresados en unidades de “mg TDS/L”.

Tabla 10*Sólidos Totales disueltos de las aguas de subsuelo de la quebrada de Coscollo.*

Nro.	TDS (mg/L)	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1	1007.00		
2	1007.00	0.58	0.00
3	1008.00		
Promedio	1007		

Nota: Elaboración propia

La cantidad de sólidos disueltos (STD) en las muestras de agua subterránea de acuerdo con la Tabla 10 fue mayor a 1000 mg/L, esta concentración fue muy similar entre las tres muestras con una diferencia aceptable de 0.58.

4.2. Caracterización de la pectina

4.2.1. Determinación de la Humedad

La humedad resultante de la pectina se estableció en base a la cantidad de agua que dicha materia tiene sobre la cantidad de pectina totalmente seca.

El contenido de humedad de la pectina representa la relación entre la masa de agua que contiene y la masa de pectina sin agua.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Donde " m_1 " es el peso antes del secado (g), " m_2 " es el peso de la muestra luego de realizar el secado (g). Esta medición del % de humedad se realizó por triplicado.

Tabla 11*Determinación del porcentaje de humedad de la pectina.*

Nro. Muestra	Masa de recipiente	Masa de recipiente vacío	Masa de recipiente vacío +	Humedad (%)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de
-----------------	-----------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------	-------------------------------	--------------------

	vacío (g)	+Muestra (g)	Muestra seca (g)			variabilidad (%)
1	45.96	47.97	47.70	13.43		
2	46.12	48.13	47.84	14.43	0.76	0.06
3	45.42	47.43	47.17	12.94		
			Promedio	13.6		

Nota: Elaboración propia

Figura 4

Pectina antes de entrar a la estufa.



Nota: Elaboración propia

Figura 5

Pectina luego de pasar por la estufa, para el cálculo de humedad.



Nota: Elaboración propia

4.2.2. Determinación de Cenizas

La ceniza de pectina es el residuo inorgánico y orgánico que queda después de la combustión de la pectina sin blanquear. Esta ceniza es típicamente pulverulenta y

puede ser bastante útil debido a su alto contenido de una variedad de minerales. Para el cálculo se empleó la siguiente formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_4}{m_2} \times 100$$

Donde " m_2 " representa la cantidad de muestra húmeda (g), " m_4 " la cantidad de las cenizas de la muestra (g).

Tabla 12

Resultados del análisis de Cenizas para la pectina.

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Ceniza (%)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variabilidad (%)
1	93.44	95.47	93.76	15.76		
2	91.88	93.88	92.17	14.50	1.52	0.11
3	94.34	96.38	94.60	12.75		
			Promedio	14.33		

Nota: Elaboración propia

Figura 6

Horno estufa para la determinación de las cenizas.



Nota: Elaboración propia

Figura 7

Crisoles con las muestras de las cenizas de pectina.



Nota: Elaboración propia

Figura 8

Retirado de muestras de pectina.



Nota: Elaboración propia

4.2.3. Determinación del grado de gelificación

Tabla 13

Resultados referentes al grado de gelificación para la pectina.

Nro. Muestra	Masa de pectina (g)	Masa de sacarosa (g)	Grado de gelificación	Desviación estándar (%)	Coficiente de variabilidad (%)
1	0.40	100.00	250.00		
2	0.90	100.00	111.11	93.77	0.65
3	1.40	100.00	71.43		

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 13 el grado de gelificación de la pectina fue mayor a 100 para las muestras 1 y 2 sin embargo en la muestra 3 el valor resulto muy por debajo de los anteriores.

4.2.4. Determinación de la densidad aparente

Se consideró como densidad aparente la cantidad en gramos de pared celular junto con los espacios huecos de la madera, resultando por tanto un valor proporcional y posible de calcularse. La densidad aparente "p" de la madera y los materiales de pectina asocia su cantidad másica "m" con respecto al volumen "v". A continuación, se muestra la ecuación empleada para el cálculo.

$$\text{Densidad aparente (g/cm}^3\text{)} = \frac{m}{\text{volumen global}}$$

Tabla 14

Valores de la densidad para la pectina

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Volumen (cm³)	Densidad Aparente (g/cm³)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variabilidad (%)
1	22.70	37.56	20.00	0.74		
2	21.95	37.12	20.00	0.76	0.05	0.07
3	21.96	43.06	25.00	0.84		
			Promedio	0.78		

Nota: Elaboración propia

Figura 9

Pesado de la pectina.



Nota: Elaboración propia

Figura 10

Muestras de Pectina.



Nota: Elaboración propia

4.2.5. Determinación del pH

Coeficiente que señala el nivel de alcalinidad o acidez de una solución en fase líquida o acuosa, los valores se establecen entre 1 a 14 considerándose el valor de 7 como neutro, los valores mayores a este son se consideran como soluciones básicas mientras que los valores menores son ácidas.

Tabla 15

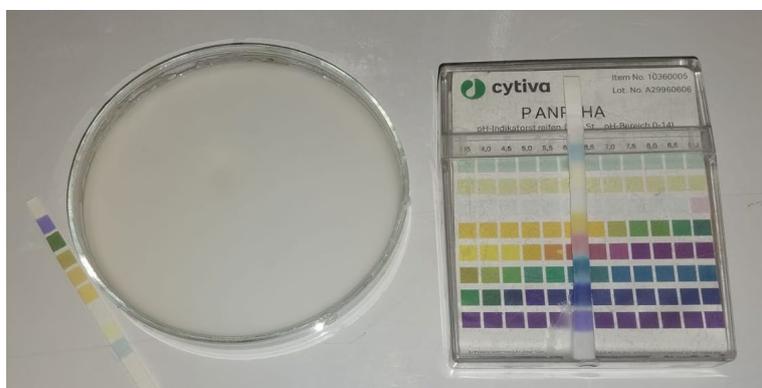
Resultado del pH para la pectina.

Nro.	Medida de pH	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1	6.00		
2	7.00	0.577350269	0.08660254
3	7.00		

Nota: Elaboración propia

Figura 11

Determinación de pH de la pectina.



Nota: Elaboración propia

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 15 el pH de la pectina fue entre 6.0 y 7.0, lo cual significa que esta biomasa tiene un pH relativamente neutro, así mismo los valores determinados por el análisis se consideran como aceptables dado que la diferencia está dentro del estándar.

4.3. Diseño experimental

En la tabla a continuación se presentan las cantidades resultantes de plomo

Figura 12

Preparación de cartucho de pectina izquierda. Preparación del diseño experimental derecha.



Nota: Elaboración propia

Tabla 16

Resultado de las concentraciones de plomo.

Variable 1	Variable 2	Número de resultado	Concentración inicial de Plomo	Concentración final de plomo		
				1	2	3
0.25	1	1		892	885	889
0.25	3	2		915	923	920
0.25	6	3		948	953	950
0.50	1	4		896	891	895
0.50	3	5	6570	905	908	905
0.50	6	6		944	939	943
1.00	1	7		880	875	881
1.00	3	8		922	920	923
1.00	6	9		914	918	913

Nota: Elaboración propia

Variable dependiente: Concentración final de plomo (mg/L)

Factores:

Peso de Pectina (g)

Tiempo de adsorción (h)

- Número de casos completos: 9
- Numero de Corridas experimentales: 27

En este procedimiento se ejecutó un análisis de varianza de varios factores para Concentración de plomo. Para ello, se realizó varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Concentración de plomo. También se evaluó la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA permitieron identificar los factores significativos. Donde para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples nos dijeron cuales medias son significativamente diferentes de otras. Así mismo, la Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones ayudaron a interpretar los efectos significativos.

Tabla 17

Análisis de Varianza (ANOVA) para la concentración final de plomo.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A: Concentración de pectina	942.296	2	471.148	59.17	0.0000
B: Tiempo	10765.0	2	5382.48	675.94	0.0000
INTERACCIONES					
AB	1896.81	4	474.204	59.55	0.0000
RESIDUOS	143.333	18	7.96296		
TOTAL	13747.4	26			
(CORREGIDO)					

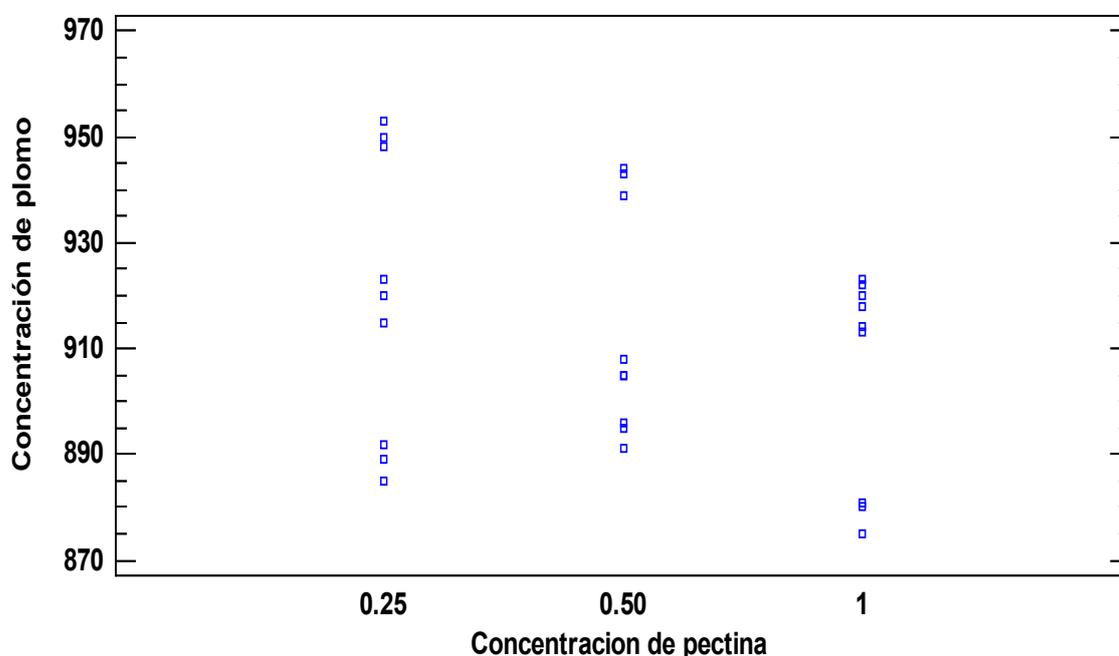
Nota: Extraído de Statgraphics centurión 19.

Todas las razones -F se basan en el cuadrado medio del error residual.

La tabla ANOVA descompuso la variabilidad de Concentración de plomo en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se escogió la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se midió eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P probaron la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P fueron menores que 0.05, por lo que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Concentración de plomo con un 95.0% de nivel de confianza.

Figura 13

Grafica de dispersión.

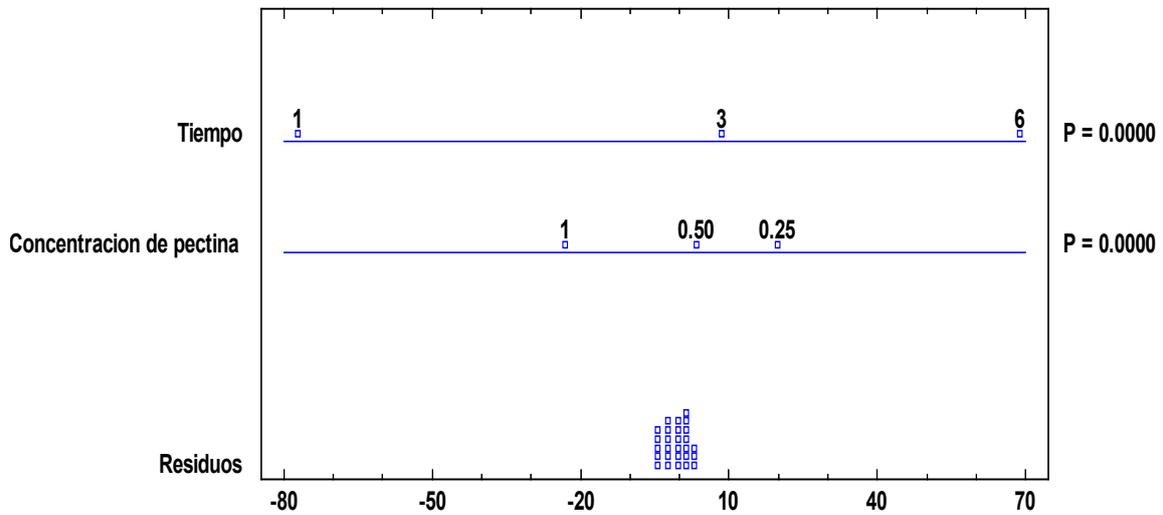


Nota: Extraído de Statgraphics centurión 19.

La figura 13 muestra los niveles de concentración alcanzados, siendo en la cantidad de pectina empleada de 1 g en la que se pudo observar los efectos de menor concentración.

Figura 14

ANOVA gráfico para la concentración de plomo.

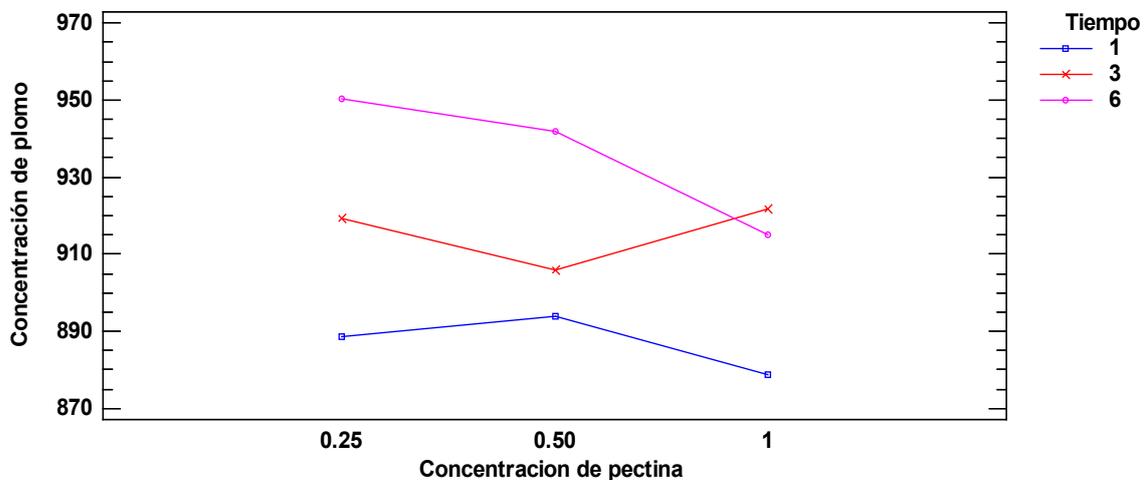


Nota: Extraído de Statgraphics centurión 19.

Según la figura 14 podemos observar que en la variable tiempo el grado de dispersión logrado para reducir la concentración de plomo fue mucho mayor que la alcanzada por la concentración de pectina empleada. Se puede decir que gráficamente según el ANOVA, la variable tiempo fue de mayor influencia en la variable respuesta.

Figura 15

Gráfica de interacciones.



Nota: Extraído de Statgraphics centurión 19.

Según la figura 15 se observó que el nivel de descenso de la concentración de plomo en función al tiempo y concentración de pectina empleada, siendo en la curva de tiempo a una hora donde se pudo observar los valores más bajos de plomo después de la experimentación.

4.4. Eficiencia del método

En la tabla a continuación muestra los promedios alcanzados por la adsorción de plomo a base de la pectina.

Tabla 18

Determinación de la eficiencia por cada prueba ensayada.

Concentración inicial de Plomo	Concentración final de plomo			Promedio	Eficiencia
	1	2	3		
6570	892	885	889	889	86.5
	915	923	920	919	86.0
	948	953	950	950	85.5
	896	891	895	894	86.4
	905	908	905	906	86.2
	944	939	943	942	85.7
	880	875	881	879	86.6
	922	920	923	922	86.0
	914	918	913	915	86.1

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 18. se observó que el método de adsorción de plomo por la pectina llega a un total de 86.6 % de eficiencia.

V. DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación se presenta la eficiencia de adsorción de plomo en aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo localizada en San Martín de Socabaya utilizando pectina. Donde la concentración inicial de plomo en las aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo fue de 6570 mg/L y al finalizar el proceso de adsorción de 879 mg/L, lográndose un porcentaje de remoción máximo de plomo de 86.6% para un tiempo de contacto de una hora y una cantidad de pectina en el cartucho de 1 gramo.

Según Ren et al. (2022), las aguas subterráneas son aquellas que discurren bajo la superficie del terreno formando la capa freática, las cuales están compuestas de ciertos metales, como K, Na, Mg, Ca, Zn, Fe, Cu y Co, elementos que son esenciales para el crecimiento y funcionamiento normal del cuerpo humano. Sin embargo, muchos son tóxicos y no esenciales, como Pb, Ni, As y Cd, los cuales causan riesgos para la salud cuando se ingieren en cantidades suficientes. De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización de traza de metales del agua subterránea de la quebrada de Coscollo presentados en la Tabla 5, el metal en mayor cantidad identificado en dicha quebrada fue el plomo con 6570 mg/L, lo que significa que el agua de esta quebrada es un riesgo para cualquier ser vivo, así como para el ambiente.

Por otro lado, Lessa et al. (2020) indican que los materiales compuestos a base de polisacáridos y derivados de polisacáridos, tal como la pectina, han sido ampliamente referidos en la literatura como adsorbentes eficientes y de bajo costo en el tratamiento de aguas residuales ya que tienen una gran capacidad para adsorber iones metálicos, colorantes, compuestos orgánicos y otros contaminantes del agua, lo cual se logró corroborar con relación a los resultados obtenidos en la investigación, observándose a través de los diferentes ensayos una disminución considerable del metal plomo de las aguas subterráneas empleando la pectina como adsorbente.

Según Valerio et al. (2021), la pectina comercial hoy en día generalmente es extraída de las cáscaras de las frutas, en particular de los cítricos como la naranja ya que en su corteza abunda dicho polisacárido, siendo capaz de remover el metal

pesado plomo, coincidiendo con Calixto & Gaona (2019) quienes en su tesis de investigación “Biosorción de Plomo (II) con cáscara de naranja (*Citrus cinensis*) aplicado a efluentes acuosos” obtuvieron un porcentaje de remoción de Pb (II) del 91,8%. Mientras que en nuestra investigación se obtuvieron porcentajes considerables de remoción de plomo empleando pectina comercial.

Por otro lado Morales (2020), en su tesis “Optimización del proceso de biosorción de plomo (II) con mesocarpio de toronja (*Citrus paradisi var. marsh*)” obtuvo una remoción máxima de 243,145 mg/g que se traduce en un 90% de eficiencia, esto empleando 0.05 g de pectina, un pH de 3 y 379.92 ppm. Mientras que, Arévalo (2021) en su investigación “Determinación de la capacidad de bioadsorción de metales pesados mediante el uso de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*) en aguas contaminadas” obtuvo un porcentaje de remoción de plomo de 93.97% empleando 0,1 g de adsorbente a un pH óptimo de 4, mientras que en un tiempo óptimo de 180 y 240 min para una concentración de plomo de 10 y 30 ppm se obtuvo un porcentaje de remoción de 93.93 y 89.71% respectivamente.

De la misma manera Ricardo et al., (2018), en su artículo de investigación “Adsorción de plomo (Pb) de aguas contaminadas mediante cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)” en donde presento como variables el período de contacto y tamaño de partícula, obtuvo un porcentaje de remoción superior de 98% en 30 minutos. Igualmente, que el estudio anterior Rojas et al. (2022) también aplicó la pectina de cáscara de plátano para la extracción de metales pesados (Pb, Cu y Cr) en donde la eficiencia de adsorción resultó 92.85% para el Pb, y mayor a 96% para el Cu. Los porcentajes de eficiencia de remoción determinados por los distintos autores, resultaron ligeramente superiores a la eficiencia lograda en el presente estudio 86.6%, sin embargo, debe considerarse que la materia prima de la cual se obtuvo la pectina no fue la misma para todos los estudios, lo cual podría explicar dichas diferencias porcentuales, e indicaría que posiblemente la composición de la pectina como sus grupos funcionales influyen sobre en su capacidad como adsorbente.

En cuanto a la investigación de Laura (2018) en su tesis “Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas residuales del Río Chili que

contienen metales de Pb, As y Cr removidos mediante pectina extraída de la cáscara de naranja, limón y mandarina” obtuvo un porcentaje de remoción de plomo con la pectina de naranja de 43.13% de As, 17.65% de Cr, con la pectina de limón de 40.89% de As y 11.76 de Cr, mientras que con la biomasa extraída de mandarina un porcentaje de remoción de 43.64 % de As, 71.95 % de Pb, siendo esta última pectina la que mejores resultados obtuvo. Confirmando todos estos autores en sus estudios que tanto la pectina del mesocarpio de toronja (*Citrus paradisi var. marsh*), cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*), cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) son buenos absorbentes para la remoción de Pb^{+2} dado que lograron remover los iones de plomo de las aguas contaminadas, coincidiendo con nuestra investigación ya que se obtuvo un porcentaje de remoción máximo de 86.6% lo cual confirmaría que el uso de pectina como adsorbente de metales pesados como el plomo es eficiente.

En cuanto a las variables evaluadas en el proceso, se observó que la variable de mayor influencia en la presente investigación fue el tiempo de adsorción (h) pues a medida que va aumentando el tiempo de adsorción, el porcentaje de remoción responde directamente aumentado su valor, coincidiendo ello con el trabajo de Wang et al. (2019) quienes en también identificaron que el tiempo de adsorción es un factor esencial cuya influencia es de suma importancia para mejorar el rendimiento de los productos a base de pectina como adsorbente hacia la adsorción de un metal pesado, ya que entre mayor tiempo sea la remoción, la adsorción del metal pesado incrementa.

Respecto a la variable peso de pectina (g), se observó que a 1 g de pectina empleada la concentración final de plomo fue menor, coincidiendo con Morales (2020), en su tesis “Optimización del proceso de biosorción de plomo (II) con mesocarpio de toronja (*Citrus paradisi var. marsh*)” quien empleando 0.05 g de pectina logró una remoción mayor del 90%, esto permitió deducir que es posible remover los iones de plomo sin aplicar enormes cantidades de pectina de toronja, representando una ventaja para el proceso

Así mismo el estudio de Kumar (2019) titulado “Orange peel derived natural and modified pectin for the removal of heavy metals from aqueous solution” en donde

se evaluó la capacidad de remoción de la pectina natural y modificada con respecto a iones Cu^{2+} y Pb^{2+} considerándose criterios de pH, tiempo de contacto y cantidad de masa, se determinó que un pH igual a 6 resultaba mejor para la remoción de iones de cobre, bajo un tiempo de 60 y 30 minutos para pectina natural y modificada respectivamente, mientras que para los iones de plomo el pH que permitió una mayor remoción fue de 4 durante 45 y 60 minutos, en el caso de la cantidad de masa bioadsorbente para ambos iones los mejores porcentajes de remoción se logró con 40 mg de pectina tanto modificada como natural. Comparando los valores resultantes con los obtenidos en nuestra investigación se pudo observar que una masa menor o igual a 50 mg de pectina resulta una cantidad adecuada para optimizar la remoción de metales, especialmente los de Pb.

Así mismo, de acuerdo con la tesis de Ibarra (2020) cuyo título es “Análisis integral y optimización de un proceso de floculación-coagulación empleando pectina de nopal para el tratamiento de aguas contaminadas con metales”, en donde evaluó la remoción de diferentes metales variando la cantidad de pectina, velocidad de agitación y pH, y bajo lo cual encontró que a una cantidad de bioadsorbente superior a 28 mg, además de un pH menor a 4 se puede alcanzarse valores de eficiencia por encima del 85%, como en la presente investigación que se superó llegando hasta un máximo de 86.6%.

A diferencia de los otros estudios, Carbajal (2021) en su estudio “Reducción de la concentración de metales Fe y Pb por adsorción con cáscara de naranja” empleó directamente la cáscara de naranja sin someterla a un proceso de hidrólisis para obtener pectina, consiguiendo una remoción de 70%Fe y 40%Pb con 10 gramos de bioadsorbente, estos valores que en comparación al resto de investigaciones en donde si se hizo uso de pectina resulta mucho menor especialmente para el plomo; ya que las cáscaras de naranja, plátano, nopal u otra materia orgánica por sí mismas sin un procesamiento no tiene una alta capacidad de adsorción de metales y además implican el uso de dosis más elevadas. Esto nos demostró en general que la metodología aplicada desde la biomasa aplicada, así como la dosis utilizada y el resto de aspectos considerados en el proceso de adsorción fueron las adecuadas y que el uso de pectina como bioadsorbente es una mejor alternativa.

VI. CONCLUSIONES

- **PRIMERA:** El agua de subterránea recogida a partir de un pozo en la Quebrada de Coscollo de distrito de Socabaya en Arequipa fue caracterizada obteniéndose una traza de metales donde se registró una concentración inicial de plomo de 6570 mg/L, así mismo se obtuvo que presenta un pH 7, conductividad 2015.33 $\mu\text{s/cm}$ (aguas duras), densidad 0.991 g/cm³, Solidos Totales 881066.67 mg/L, y Solidos totales disueltos 1007 mg/L.
- **SEGUNDA:** Se caracterizó la pectina comercial obteniéndose un Porcentaje de humedad 13.6%, Porcentaje de cenizas 14.33%, grado de gelificación 71.43, Densidad aparente 0.78 g/cm³ y pH 7.
- **TERCERA:** Se preparó cartuchos a base de diferentes cantidades de pectina haciendo uso de papel filtro como medio contenedor, las cantidades empleadas para encapsular la pectina fueron de: 0.25 g, 0.5g, 1g.
- **CUARTA:** Al finalizar el proceso de adsorción de plomo mediante la pectina se obtuvo una concentración final de plomo de 879 mg/L, lográndose una máxima eficiencia de remoción 86.6% en un tiempo de contacto de una hora y una cantidad de pectina en el cartucho de 1 g.

VII. RECOMENDACIONES

- **PRIMERA:** Respecto al primero objetivo y su eficiencia en la absorción del plomo gracias a la aplicación adecuada de la pectina comercial, se recomienda desarrollar diferentes pruebas de remoción para otros metales pesados localizados en las aguas subterráneas como son el caso del Cromo, Cobre, Arsénico, Cadmio, entre otros, de esta forma se podría ayudar en la reducción de la contaminación ambiental en las aguas de la ciudad de Arequipa.
- **SEGUNDA:** Se recomienda estudiar la influencia de otras variables como la temperatura, pH del medio y tamaño de partícula para analizar si son variables influyentes en la remoción de metales pesados en aguas subterráneas empleando pectina como adsorbente.
- **TERCERA:** Se recomienda realizar estudios de la aplicabilidad de la pectina en la remoción de plomo en aguas industriales ya que configura la problemática en nuestra localidad.
- **CUARTA:** Se recomienda a las empresas industriales poner en práctica estos diferentes métodos de absorción de metales pesados en diferentes tipos de aguas, ya que la aplicación de estas diferentes metodologías tiene bajos costos y ayudan a concientizar el cuidado del agua en nuestra ciudad.

REFERENCIAS

- Aguilar, M., & Flores, C. (2018). *Evaluación de la cáscara de naranja (citrus cinensis) como material adsorbente natural de ion metálico Cu(II)* [Universidad Nacional de San Agustín]. [http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7105/IQagsamb.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Las pruebas sobre el efecto de tamaño de partícula fueron,cáscara \(Citrus cinensis\)-Huando](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7105/IQagsamb.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Las pruebas sobre el efecto de tamaño de partícula fueron,cáscara (Citrus cinensis)-Huando)
- Alvarez, A. R. (2022). *Clasificación de las investigaciones*. Universidad de Lima.
- Arévalo, P. W. (2021). *Determinación de la capacidad de bioadsorción de metales pesados mediante el uso de la cáscara de maracuyá (Passiflora edulis) en aguas contaminadas* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20073/1/UPS-CT009019.pdf>
- Bai, B., Bai, F., Li, X., Nie, Q., Jia, X., & Wu, H. (2022). The remediation efficiency of heavy metal pollutants in water by industrial red mud particle waste. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102944. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2022.102944>
- Calixto, C., & Gaona, B. (2019). *Biosorción de plomo ii con cáscara de naranja (citrus cinensis) aplicado a efluentes acuosos* [PE]. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5712>
- Chandel, V., Biswas, D., Roy, S., Vaidya, D., Verma, A., & Gupta, A. (2022). Current Advancements in Pectin: Extraction, Properties and Multifunctional Applications. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 2683, 11(17), 2683. <https://doi.org/10.3390/FOODS11172683>
- Collin, M. S., Venkatraman, S. K., Vijayakumar, N., Kanimozhi, V., Arbaaz, S. M., Stacey, R. G. S., Anusha, J., Choudhary, R., Lvov, V., Tovar, G. I., Senatov, F., Koppala, S., & Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7, 100094. <https://doi.org/10.1016/J.HAZADV.2022.100094>
- Collin, S., Baskar, A., Deepthi, M., Mohamed, S., Proveena, B., Rajan, C., Vladislav, L., Tovar, G., Senatov, F., Sivasankar, K., & Sasikumar, S. (2022).

- Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: A review. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 3(100064).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hazl.2022.100064>
- Cruz, A. (2018). *Extracción de pectina bruta y su nivel de gelidificación obtenida a partir de la cáscara de guayaba (Psidium guajava) recolectada de la zona del Valle de Chipillico en el distrito de las Lomas* [Universidad Nacionanl de Piura].
<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2621/IAIA-CRU-HER-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dutta, D., Arya, S., & Kumar, S. (2021). Industrial wastewater treatment: Current trends, bottlenecks, and best practices. *Chemosphere*, 285, 131245.
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131245>
- EPA. (2022). *Información básica sobre el plomo en el agua potable | US EPA*.
<https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-plomo-en-el-agua-potable>
- Esmaeili Bidhendi, M., Parandi, E., Mahmoudi-Meymand, M., Sereshti, H., Nodeh, H. R., Joo, S.-W., Vasseghian, Y., Mahmoudi Khatir, N., & Rezanian, S. (2023). Removal of lead ions from wastewater using magnesium sulfide nanoparticles caged alginate microbeads. *Environmental Research*, 216, 114416.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.114416>
- Gawkowska, D., Cybulska, J., & Zdunek, A. (2018). Structure-Related Gelling of Pectins and Linking with Other Natural Compounds: A Review. *Polymers* 2018, Vol. 10, Page 762, 10(7), 762. <https://doi.org/10.3390/POLYM10070762>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2019). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Mc Graw Hi).
- Hu, H., & Xu, K. (2020). Physicochemical technologies for HRP and risk control. *High-Risk Pollutants in Wastewater*, 169–207. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816448-8.00008-3>
- INDECI. (2019, April). Contaminación por arsénico y plomo en el agua subterránea del distrito de Mórrope – Lambayeque. *Informe de Emergencia N° 456*, 44.

- INDECI. (2021). *Contaminación de la cuenca de los ríos Tambo y Coralaque en la región Moquegua y Arequipa* (p. 57). COEN.
- Kumar, D. (2019). *Orange peel derived natural and modified pectin for the removal of heavy metals from aqueous solution* [Bangladesh University of Engineering and Technology]. <http://lib.buet.ac.bd:8080/xmlui/handle/123456789/5524>
- Lessa, E. F., Medina, A. L., Ribeiro, A. S., & Fajardo, A. R. (2020). Removal of multi-metals from water using reusable pectin/cellulose microfibers composite beads. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 709–720. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2017.07.011>
- Li, J., Yang, Z. lei, Ding, T., Song, Y. J., Li, H. C., Li, D. qiang, Chen, S., & Xu, F. (2022). The role of surface functional groups of pectin and pectin-based materials on the adsorption of heavy metal ions and dyes. *Carbohydrate Polymers*, 276, 118789. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118789>
- Lin, Y., An, F., He, H., Geng, F., Song, H., & Huang, Q. (2021). Structural and rheological characterization of pectin from passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) peel extracted by high-speed shearing. *Food Hydrocolloids*, 114, 106555. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.106555>
- Morales, J. (2020). *Optimización del proceso de biosorción de plomo (II) con mesocarpio de toronja (citrus paradisi var. marsh)* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1837>
- Nag, R., & Cummins, E. (2022). Human health risk assessment of lead (Pb) through the environmental-food pathway. *Science of The Total Environment*, 810, 151168. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.151168>
- Priyadharshini, B., & Marykutty, A. (2022). Adsorption of cadmium (Cd) and lead (Pb) using powdered activated carbon derived from Cocos Nucifera waste: A kinetics and equilibrium study for long-term sustainability. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53(C). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102709>
- Renu, K., Chakraborty, R., Myakala, H., Koti, R., Famurewa, A. C., Madhyastha, H., Vellingiri, B., George, A., & Valsala Gopalakrishnan, A. (2021). Molecular

- mechanism of heavy metals (Lead, Chromium, Arsenic, Mercury, Nickel and Cadmium) - induced hepatotoxicity – A review. *Chemosphere*, 271, 129735. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.129735>
- Ricardo, V., Gurreonero, J., & Castillo, A. (2018). Adsorción de plomo (Pb) de aguas contaminadas mediante cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 67. http://www.laccei.org/LACCEI2018-Lima/full_papers/FP67.pdf
- Saravanan, A., Senthil Kumar, P., Jeevanantham, S., Karishma, S., Tajsabreen, B., Yaashikaa, P. R., & Reshma, B. (2021). Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. *Chemosphere*, 280, 130595. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.130595>
- Serrat, M., De la Fé, Á., De la Fé, J., & Montero, C. (2018). Extracción y caracterización de pectina de pulpa de café de la variedad Robusta. *Revista Cuvana de Química*, 30(3), 522–538. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-54212018000300011&lng=es&nrm=iso
- Valerio, C., Martínez, J., Velázquez, D., & De la Cruz, P. (2021). Determination of the point of zero charge of pineapple (*Ananas comosus* L.) peel and its application as copper adsorbent. *Agro Productividad*. <https://doi.org/https://doi.org/10.32854/agrop.v14i11.2009>
- Wang, Q., Wang, Y., Tang, J., Yang, Z., Zhang, L., & Huang, X. (2022). New insights into the interactions between Pb(II) and fruit waste biosorbent. *Chemosphere*, 303, 135048. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135048>
- Wang, R., Liang, R., Dai, T., Chen, J., Shuai, X., & Liu, C. (2019). Pectin-based adsorbents for heavy metal ions: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 319–329. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.07.033>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	
Eficiencia de adsorción de plomo	La eficiencia de adsorción de plomo es un parámetro crítico que determina cuánto plomo se elimina dependiendo de la dosis de pectina (González-López, 2022).	La eficiencia de adsorción de plomo, se determinó mediante la siguiente ecuación (Cerna & Elías, 2015): Eficiencia (%) = $\frac{C_o - C}{C_o} \times 100$	Condiciones de la solución: como el pH, la fuerza iónica y la concentración del adsorbato	Concentración inicial de plomo	mg/L	Numeral
				Concentración final de plomo	mg/L	
Caracterización del agua después del proceso de adsorción	Consiste en determinar los atributos del agua tratada, con el objeto de conocer si el proceso de Adsorción con pectina conlleva a la reducción del contaminante para obtener agua con	Se definió mediante un análisis de los parámetros físico-químicos del agua tratada como densidad, pH, conductividad	Parámetros físicoquímicos	Densidad	g/cm ³	Numeral
				pH	-	
				Conductividad Eléctrica	μS/cm	
				Sólidos totales	mg/L	

	características diferentes (Torres, 2019)	Eléctrica, sólidos totales, sólidos totales disueltos, concentración final de plomo.		Sólidos totales disueltos	mg/L	
				Concentración final de plomo	mg/L	
VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA	
Caracterización del agua de subsuelo de la quebrada de Coscollo de San Martín de Socabaya	Consiste en determinar los atributos del agua contaminada, con el objeto de conocer si el proceso de Adsorción con pectina conlleva a la reducción del contaminante para obtener agua con características diferentes (Ríos, 2020)	Se definió mediante un análisis de las características físico-químicas del agua a tratar como densidad, conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, sólidos totales disueltos, concentración inicial de plomo.	Caracterización físicoquímica	Densidad	g/cm ³	Numeral
				pH	-	
				Conductividad Eléctrica	µS/cm	
				Sólidos totales	mg/L	
				Sólidos totales disueltos	mg/L	

				Concentración inicial de plomo	mg/L	
Pectina comercial	La pectina es un tipo de homopolisacárido, conformado por ramificados polímeros ácidos y neutros. Este homopolisacárido es el componente principal de la pared celular primaria de los vegetales, constituyendo hasta el 30% del peso seco de estas (Cruz, 2018).	Las características físicas químicas de la pectina comercial se analizaron mediante pH, humedad, ceniza, tiempo de gelificación e índice de yodo.	Caracterización fisicoquímica	pH	-	Numeral
				Humedad	%	
				Ceniza	%	
				°Brix	Grados	
				Tiempo de gelificación	min	
				Índice de Yodo	Gramos de yodo por 100 g de muestra	

Proceso de adsorción	La adsorción es la transferencia de sustancias orgánicas desde una fase líquida a la superficie de una sólida, en este proceso se adhieren moléculas, átomos de la sustancia (gas, líquido o sólido) a la superficie del adsorbente (Hu & Xu, 2020).	Las condiciones óptimas del proceso de adsorción de plomo con pectina comercial permitieron obtener altas eficiencias de eliminación del contaminante en aguas subterráneas.	pH Tiempo de adsorción	1 – 14	-	Numeral
				4 – 6	h	

Anexo 2. Matriz de consistencia

TÍTULO			Aplicación de la pectina para la adsorción de plomo contenidos en aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo, Arequipa 2022				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	
¿De qué manera debería aplicarse la pectina para que sea eficiente en la reducción del plomo contenido en aguas subterráneas?	Determinar la aplicación de pectina para reducir el Contenido de Plomo en las Aguas Subterráneas de la quebrada de Coscollo.	Es posible reducir los niveles de plomo de las aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya, con el uso adecuado de la pectina comercial.	Eficiencia de adsorción de plomo	Condiciones de la solución: como el pH, la fuerza iónica y la concentración del adsorbato	Concentración inicial de plomo	mg/L	Numeral
					Concentración final de plomo	mg/L	
			Caracterización del agua después del proceso de adsorción	Parámetros fisicoquímicos	Densidad	g/cm ³	Numeral
					pH	-	
					Conductividad Eléctrica	µS/cm	
Sólidos totales	mg/L						
Sólidos totales disueltos	mg/L						

					Concentración final de plomo	mg/L	
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA	
¿Cuáles deberían ser los criterios de caracterización de agua del subsuelo procedente de la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya?	Caracterizar el agua de subsuelo procedente de la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya	A través de la caracterización del agua de subsuelo procedente de la quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya será posible determinar la estrategia más adecuada de solución referente a los niveles de	Caracterización del agua de subsuelo de la quebrada de Coscollo de San Martín de Socabaya	Caracterización fisicoquímica	Densidad	g/cm ³	Numeral
					pH	-	
					Conductividad Eléctrica	µS/cm	
					Sólidos totales	mg/L	
					Sólidos totales disueltos	mg/L	
					Concentración inicial de plomo	mg/L	

		contaminación por plomo.					
¿Cuáles deberían ser las características de la pectina comercial adquirida?,	Caracterizar la pectina comercial adquirida	A través de la caracterización de la pectina comercial adquirida será posible conocer las particularidades y métodos de aplicación más adecuados del producto sobre los efluentes señalados	Pectina comercial	Caracterización fisicoquímica	pH	-	Numeral
					Humedad	%	
					Ceniza	%	
					°Brix	Grados	
					Tiempo de gelificación	min	
Índice de Yodo	Gramos de yodo por 100 g de muestra						
¿A través de qué tipo de tratamiento de adsorción será	Preparar los cartuchos de pectina para el	A través de la preparación adecuada de los cartuchos	Proceso de adsorción	pH Tiempo de adsorción	1 – 14	-	Numeral

necesario preparar los cartuchos de pectina?	tratamiento por adsorción	de pectina, estos podrán montarse sin inconvenientes en el equipo extractor					
¿De qué manera se determinará la eficiencia de la pectina respecto a la absorción de plomo?	Determinar la eficiencia de la pectina en la absorción de plomo.	A través del análisis de los parámetros físicos químicos del agua será posible determinar la eficiencia de la pectina en la absorción de plomo.			4 – 6	h	

Anexo 3. Instrumento de recolección de datos



INSTRUMENTO 1

Objetivo 1. CARACTERIZACION DE LAS AGUAS DE SUBSUELO DE LA QUEBRADA DE COSCOLLO

Nombre del muestreador:

Fecha: Hora:

Determinación de pH

Nro.	Medida de pH	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1			
2			
3			

Determinación de conductividad eléctrica CE

Nro.	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1			
2			
3			

Determinación de la Densidad

Nro.	Peso del picnómetro vacío	Peso del picnómetro + muestra	Volumen de la muestra	Densidad	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1						
2						
3						

Determinación de Sólidos Totales ST

Nro.	STD (mg/L)	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1			
2			
3			

INSTRUMENTO 2

Objetivo 2. CARACTERIZACION DE LA PECTINA

Nombre del muestreador:

Fecha: Hora:

Determinación de la Humedad

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Humedad (%)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variabilidad (%)
1						
2						
3						

Determinación de Cenizas

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Ceniza (%)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variabilidad (%)
1						
2						
3						

Determinación del grado de gelificación

Nro. Muestra	Masa de pectina (g)	Masa de sacarosa (g)	Grado de gelificación	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variabilidad (%)
1					
2					
3					

INSTRUMENTO 3

Objetivo 2. CARACTERIZACION DE LA PECTINA

Nombre del muestreador:

Fecha: Hora:

Determinación de la densidad aparente

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Volumen (cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variabilidad (%)
1						
2						
3						

Determinación del pH

Nro.	Medida de pH	Desviación estándar	Coefficiente de variabilidad
1			
2			
3			

INSTRUMENTO 4
Objetivo 3. CORRIDA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL
Nombre del muestreador:

 Fecha: Hora:
 Diseño experimental: **DISEÑO DE BLOQUES**

Variable independiente:	Variable dependiente:
- Peso de pectina - Tiempo de adsorción	- Concentración final de Plomo

Variable independiente 1 Peso de pectina (g)	Variable independiente 2 Tiempo de adsorción (h)	Numero de resultado	Concentración final de Plomo		
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
0.25	1	1			
	3	2			
	6	3			
0.50	1	4			
	3	5			
	6	6			
1.00	1	7			
	3	8			
	6	9			

Características finales del agua

V. Inde. 1 Peso de pectina (g)	V. Inde. 2 Tiempo de adsorción (h)	Numero de resultado	Densidad			pH			Conductividad			Solidos Totales		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.25	1	1												
	3	2												
	6	3												
0.50	1	4												
	3	5												
	6	6												
1.00	1	7												
	3	8												
	6	9												

Anexo 4. Validez y confiabilidad de los instrumentos de recolección



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DE LOS INSTRUMENTO QUE MIDEN LAS VARIABLES SISTEMA DE GESTION DE SEGURIDAD Y ACCIDENTES LABORALES.

VARIABLE INDEPENDIENTE 1 - OBJETIVO 1	Pertinencia¹		Relevancia²		Claridad³		Sugerencias
Caracterización del agua de subsuelo de la quebrada de coscollo de San Martín de Socabaya							
Dimensión 1: Caracterización fisicoquímica	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
Densidad pH Conductividad Eléctrica Sólidos totales	x		x		x		
VARIABLE INDEPENDIENTE 2 - OBJETIVO 2	Pertinencia¹		Relevancia²		Claridad³		
Pectina comercial							
Dimensión 2: Caracterización fisicoquímica	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
pH Humedad Ceniza °Brix Tiempo de gelificación	x		x		x		
VARIABLE INDEPENDIENTE 3 - OBJETIVO 3	Pertinencia		Relevancia		Claridad		
Proceso de adsorción							
Dimensión 3: pH Tiempo de adsorción	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1 – 14 Hr. 4- 6 Hr.	x		x		x		
VARIABLE DEPENDIENTE 1 – OBJETIVO 3	Pertinencia		Relevancia		Claridad		
Eficiencia de adsorción de plomo							
Dimensión 1: Condiciones de la solución: como el pH, la fuerza iónica y la concentración del adsorbato	Si	No	Si	No	Si	No	

Concentración inicial de plomo	x		x		x		
Concentración final de plomo							
VARIABLE DEPENDIENTE 2 - OBJETIVO 3 Caracterización del agua después del proceso de adsorción	Pertinencia		Relevancia		Claridad		
Dimensión 2: Parámetros físicoquímicos	Si	No	Si	No	Si	No	
Densidad							
pH							
Conductividad Eléctrica							
Sólidos totales	x		x		x		
Sólidos totales disueltos							
Concentración final de plomo							

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Ninguna

Opinión de aplicabilidad: Aplicable Aplicable después de corregir No aplicable

Apellidos y nombres del juez validador. Mg./Dr.: Mg. JOSE JAVIER MAMANI QUISPE **DNI:**
44174570

Especialidad del validador: 10 de Enero del 2023

¹**Pertinencia:** El indicador corresponde al concepto teórico formulado.

²**Relevancia:** El indicador es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del indicador, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.



 ING. CIP. JOSE JAVIER MAMANI QUISPE
 Registro 156288 - QUMMICO

Firma del Experto Informante

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DE LOS INSTRUMENTO QUE MIDEN LAS VARIABLES SISTEMA DE GESTION DE SEGURIDAD Y ACCIDENTES LABORALES.

VARIABLE INDEPENDIENTE 1: Caracterización del agua de subsuelo de la quebrada de coscollo de San Martín de Socabaya	Pertinencia¹		Relevancia²		Claridad³		Sugerencias
Dimensión 1: Caracterización fisicoquímica	Si	No	Si	No	Si	No	
Densidad pH Conductividad Eléctrica Sólidos totales	X		X		X		
VARIABLE INDEPENDIENTE 2: Pectina comercial	Pertinencia¹		Relevancia²		Claridad²		
Dimensión 2: Caracterización fisicoquímica	Si	No	Si	No	Si	No	
pH Humedad Ceniza °Brix Tiempo de gelificación	X		X		X		
VARIABLE INDEPENDIENTE 3: Proceso de adsorción	Pertinencia		Relevancia		Claridad		
Dimensión 3: pH Tiempo de adsorción	Si	No	Si	No	Si	No	
1 – 14 Hr. 4- 6 Hr.	X		X		X		
VARIABLE DEPENDIENTE 1: Eficiencia de adsorción de plomo	Pertinencia		Relevancia		Claridad		
Dimensión 1: Condiciones de la solución: como el pH, la fuerza iónica y la concentración del adsorbato	Si	No	Si	No	Si	No	
Concentración inicial de plomo Concentración final de plomo	X		X		X		
VARIABLE DEPENDIENTE 2: Caracterización del agua después del proceso de adsorción	Pertinencia		Relevancia		Claridad		
Dimensión 2: Parámetros fisicoquímicos	Si	No	Si	No	Si	No	

Densidad						
pH						
Conductividad Eléctrica						
Sólidos totales	X		X		X	
Sólidos totales disueltos						
Concentración final de plomo						

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable** [X] **Aplicable después de corregir** []
 No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Mg./Dr.: **Rodolfo Roque Perez Mendez**

DNI: **44977607**

Especialidad del validador: **Ing. Químico**

10 de Enero del 2023

¹Pertinencia: El indicador corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El indicador es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del indicador, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.



Ing. CIP. RODOLFO ROQUE PEREZ MENDEZ
 Registro 126739 - Químico

Firma del Experto Informante

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DE LOS INSTRUMENTO QUE MIDEN LAS
VARIABLES SISTEMA DE GESTION DE SEGURIDAD Y ACCIDENTES LABORALES.**

VARIABLE INDEPENDIENTE 1 - OBJETIVO 1 Caracterización del agua de subsuelo de la quebrada de coscollo de San Martín de Socabaya	Pertinencia¹		Relevancia²		Claridad³		Sugerencias
Dimensión 1: Caracterización fisicoquímica	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
Densidad pH Conductividad Eléctrica Sólidos totales	X		X		X		
VARIABLE INDEPENDIENTE 2 - OBJETIVO 2 Pectina comercial	Pertinencia¹		Relevancia²		Claridad³		
Dimensión 2: Caracterización fisicoquímica	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
pH Humedad Ceniza °Brix Tiempo de gelificación	X		X		X		
VARIABLE INDEPENDIENTE 3 - OBJETIVO 3 Proceso de adsorción	Pertinencia		Relevancia		Claridad		
Dimensión 3: pH Tiempo de adsorción	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1 – 14 Hr. 4- 6 Hr.	X		X		X		
VARIABLE DEPENDIENTE 1 – OBJETIVO 3 Eficiencia de adsorción de plomo	Pertinencia		Relevancia		Claridad		

Dimensión 1: Condiciones de la solución: como el pH, la fuerza iónica y la concentración del adsorbato	Si	No	Si	No	Si	No	
Concentración inicial de plomo Concentración final de plomo	X		X		X		
VARIABLE DEPENDIENTE 2 - OBJETIVO 3 Caracterización del agua después del proceso de adsorción	Pertinencia		Relevancia		Claridad		
Dimensión 2: Parámetros fisicoquímicos	Si	No	Si	No	Si	No	
Densidad pH Conductividad Eléctrica Sólidos totales Sólidos totales disueltos Concentración final de plomo	X		X		X		

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Ninguna

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [X]** **Aplicable después de corregir []**

No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Mg./Dr.: MSC. QUIJANO PACHECO, WILBER

DNI: 06082600

CIP: 90140

Especialidad del validador: Docente de la UCV – INGENIERO ZOOTECNISTA

2 de febrero del 2023

¹**Pertinencia:** El indicador corresponde al concepto teórico formulado.

²**Relevancia:** El indicador es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del indicador, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.



Firma del Experto Informante

Anexo 5. Informes de Laboratorio



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 9F389AE4

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-23-00004

Fecha de emisión: 20/01/2023

Página 1 de 3

Señores : FAGSOL S.A.C.
Dirección : MZA. G6 LOTE. 5 FRANCISCO MOSTAJO (DETRAS DE SEDAPAR) AREQUIPA AREQUIPA
Atención : FAGSOL S.A.C.
Proyecto : -

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : MARIA SALAZAR RADA
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 013-23
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 18/01/2023
Fecha de ensayo : 18/01/2023
Nro de muestras : 9

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000029	PRUEBA PEC 1	Agua Residual - Agua Residual Industrial	URB. TEBOL DE SANTA CLARA / SAN MARTIN DE SOCABAYA / AREQUIPA	-16.443;-71.525	18/01/2023	11:30
AG23000030	PRUEBA PEC 2	Agua Residual - Agua Residual Industrial	URB. TEBOL DE SANTA CLARA / SAN MARTIN DE SOCABAYA / AREQUIPA	-16.443;-71.525	18/01/2023	11:30
AG23000031	PRUEBA PEC 3	Agua Residual - Agua Residual Industrial	URB. TEBOL DE SANTA CLARA / SAN MARTIN DE SOCABAYA / AREQUIPA	-16.443;-71.525	18/01/2023	11:30
AG23000032	PRUEBA PEC 4	Agua Residual - Agua Residual Industrial	URB. TEBOL DE SANTA CLARA / SAN MARTIN DE SOCABAYA / AREQUIPA	-16.443;-71.525	18/01/2023	11:30
AG23000033	PRUEBA PEC 5	Agua Residual - Agua Residual Industrial	URB. TEBOL DE SANTA CLARA / SAN MARTIN DE SOCABAYA / AREQUIPA	-16.443;-71.525	18/01/2023	11:30
AG23000034	PRUEBA PEC 6	Agua Residual - Agua Residual Industrial	URB. TEBOL DE SANTA CLARA / SAN MARTIN DE SOCABAYA / AREQUIPA	-16.443;-71.525	18/01/2023	11:30
AG23000035	PRUEBA PEC 7	Agua Residual - Agua Residual Industrial	URB. TEBOL DE SANTA CLARA / SAN MARTIN DE SOCABAYA / AREQUIPA	-16.443;-71.525	18/01/2023	11:30
AG23000036	PRUEBA PEC 8	Agua Residual - Agua Residual Industrial	URB. TEBOL DE SANTA CLARA / SAN MARTIN DE SOCABAYA / AREQUIPA	-16.443;-71.525	18/01/2023	11:30
AG23000037	PRUEBA PEC 9	Agua Residual - Agua Residual Industrial	URB. TEBOL DE SANTA CLARA / SAN MARTIN DE SOCABAYA / AREQUIPA	-16.443;-71.525	18/01/2023	11:30

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

-

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingenero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA, PE, 2010/12/23 11:19:55



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 9F389AE4

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-23-00004

Fecha de emisión:20/01/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*843
		Pb mg/L
AG23000029	PRUEBA PEC 1	892
AG23000030	PRUEBA PEC 2	915
AG23000031	PRUEBA PEC 3	948
AG23000032	PRUEBA PEC 4	896
AG23000033	PRUEBA PEC 5	905
AG23000034	PRUEBA PEC 6	944
AG23000035	PRUEBA PEC 7	880
AG23000036	PRUEBA PEC 8	922
AG23000037	PRUEBA PEC 9	914

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA, P.E. 2001/2023 11:19:55

Anexo 6. Análisis de datos en el Statgraphics

The screenshot shows the Statgraphics Centurion interface with a dialog box titled "Opciones de Creación de Diseños" (Design Creation Options) open. The dialog box contains the following options:

- Clase de Diseño (Design Class):
 - De Cribado (Screening)
 - Superficie de Respuesta (Response Surface)
 - Mezcla (Mixture)
 - Factorial Multinivel (Multilevel Factorial)
 - Arreglos Interno/Externo (Internal/External Arrangements)
 - Un Solo Factor Categórico (One Categorical Factor)
 - Multi-Factor Categóricos (Multi-Categorical Factors)
 - Componentes de Varianza (jerárquicos) (Variance Components (hierarchical))
- No. de Variables de Respuesta: 1
- Nº de Factores Experimentales: 2
- Comentario: (empty text field)

The background shows a data table with columns labeled Col_1 through Col_8 and rows numbered 1 to 25.

The screenshot shows the Statgraphics Centurion interface with a data table. The table has the following columns and data:

	BLOQUE	Peso de Pectina g	Tiempo de adrocion h	Concentración final de plomo mg/L	Col_5	Col_6	Col_7	Col_8	Col_9	Col_10
1	1	0.25	1	4.25						
2	1	0.25	3	4.12						
3	1	0.25	6	3.95						
4	1	0.5	1	2.52						
5	1	0.5	3	2.41						
6	1	0.5	6	2.11						
7	1	1	1	0.45						
8	1	1	3	0.38						
9	1	1	6	0.28						
10										
11										
12										
13										

The interface also shows a menu bar with options like Archivo, Editar, Graficar, Describir, Comparar, Relacionar, Pronósticos, CEP, DDE, SnapStats!, Herramientas, Ver, Ventana, Ayuda. The left sidebar contains "Libro de Datos" and "Asistente de Diseño de E".

STATGRAPHICS Centurion - StatFolio sin título

Archivo Editar Graficar Describir Comparar Relacionar Pronósticos CEP DDE SnapStats! Herramientas Ver Ventana Ayuda

Libro de Datos

StatAdvisor
StatGallery
StatReporter
Comentarios del StatFolio
Asistente de Diseño de E
Atributos del Diseño Mult

	BLOQUE	Peso de Pectina g	Tiempo de adsorción h	Concentración final de plomo mg/L	Col_5	Col_6	Col_7	Col_8	Co
1	1	0.25	1	4.25					
2	1	0.25	3	4.12					
3	1	0.25	6	3.95					
4	1								
5	1								
6	1								
7	1								
8	1								
9	1								
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									

Tablas y Gráficos

TABLAS

- Resumen del Análisis
- Tabla ANOVA
- Tabla de Medias
- Pruebas de Múltiple Rangos

GRÁFICOS

- Gráfico de Dispersión
- ANOVA Gráfico
- Gráfico de Medias
- Gráfico de Interacción
- Residuos vs Niveles de Factor
- Residuos vs Predichos
- Residuos vs Número de Fila

Botones: Aceptar, Cancelar, Todos, Almacén, Ayuda

STATGRAPHICS 19 - StatFolio sin título

Archivo Inicio Editar Gráficos Describir Comparar Relacionar Series Temporales Multivariante SPC DDE SnapStats Statlets Útiles Interfaces Análisis

Diálogo de captura Opciones de Análisis Tablas/gráficas Entradas Opciones Salidas

Resultados Log Logfile Operaciones

Resaltar Rotar Adición del Objeto Agregar texto Marca Resaltar Localizar

Separar Panorámica/zoom Explorar Excluir Restablecer

Operaciones Texto Identificar Localizar Ejes Diseño

Libro de Datos

StatAdvisor
StatGallery
StatReporter
Comentarios del StatFolio
StatLog
Escritorio
Atributos del Diseño Multi-f
ANOVA Multifactorial - Coc

ANOVA Multifactorial - Cocentración final de plomo

Variable dependiente: Cocentración final de plomo (mg/L)

Factores:
Peso de Pectina (g)
Tiempo de adsorción (h)

Número de casos completos: 9

El StatAdvisor

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para Cocentración final de plomo. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar que factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Cocentración final de plomo. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos le ayudarán a juzgar si los datos han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza.

Análisis de Varianza para Cocentración final de plomo - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Ra
EFFECTOS PRINCIPALES				
A: Peso de Pectina	20.9675	2	10.4837	
B: Tiempo de adsorción	0.132822	2	0.066411	
INTERACCIONES				
AB	0.0171111	4	0.00427778	
RESIDUOS	0	0		
TOTAL (CORREGIDO)	21.1174	8		

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Cocentración final de plomo en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0.05, ninguno de los factores ó interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Cocentración final de plomo



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MONTALVO MORALES KENNY RUBEN, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Aplicación de pectina para la adsorción de plomo contenidos en aguas subterráneas de la quebrada de Coscollo, Arequipa 2022", cuyos autores son VEGA ARENAS CLARA DEL ROSARIO, SALAZAR RADA MARIA MERCEDES, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 14.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 18 de Marzo del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MONTALVO MORALES KENNY RUBEN DNI: 43713929 ORCID: 0000-0003-4403-4360	Firmado electrónicamente por: KRMONTALVO el 23- 03-2023 19:17:22

Código documento Trilce: TRI - 0537455