

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUAS SINTÉTICAS POR ADSORCIÓN DE
UN LECHO FIJO DE MAGNETITA Y ZEOLITA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

AUTORES:

KATIUSKA MIRSA, MONTES HUACHACA

NANCY ROCÍO, VÁSQUEZ EDQUÉN

RUBÉN FÉLIX, HUAMANI MALLQUI

ASESOR:

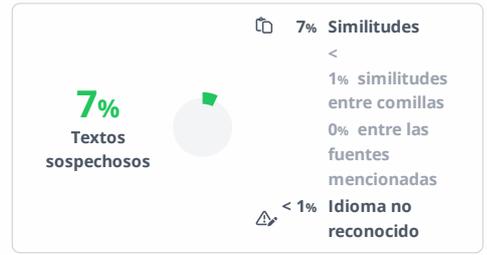
Dr. JUAN TAUMATURGO, MEDINA COLLANA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería y Tecnología

Callao, 2024

PERÚ

TESIS FINAL - HUAMANI MALLQUI-MONTES HUACHACA-VASQUEZ EDQUEN



Nombre del documento: TESIS FINAL - HUAMANI MALLQUI-MONTES HUACHACA-VASQUEZ EDQUEN.pdf ID del documento: 8b55b8e386d4439b5fa67cae23217c17025ffd76 Tamaño del documento original: 3,94 MB	Depositante: FIQ PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION Fecha de depósito: 22/1/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 22/1/2024	Número de palabras: 13.518 Número de caracteres: 94.489
---	--	--

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	1library.co Modelamiento y simulación de una columna de adsorción de lecho fij... https://1library.co/document/q2n9pnrq-modelamiento-simulacion-adsorcion-remocion-soluciones-... 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (141 palabras)
2	repositorio.unsa.edu.pe https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4003/Qorrejc085.pdf?sequence=1 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (138 palabras)
3	Evaluación de la remoción de plomo y mercurio de aguas sintéticas utilizando ze... /var/dspace/bitstream/15000/21387/1/CD_10876.pdf 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (109 palabras)
4	www.redalyc.org Adsorción de Cadmio, Cobre y Plomo en Bentonita, Caolín y Zeo... https://www.redalyc.org/journal/4988/498858250004/ 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (106 palabras)
5	scielo.senescyt.gob.ec Cinética y Mecanismos de Adsorción de Plomo (II) Usando ... http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292022000400063 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (89 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	doi.org КҮРІШ САБАНЫ МЕН МҮНАЙ ШЛАМЫН ҚОСЫП ӨҢДЕУ АРҚЫЛЫ ТҮЙІР... https://doi.org/10.37878/2708-0080/2021-1.09	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
2	www.doi.org Thermodynamic spectral and kinetic analysis of the removal of Cu(l... https://www.doi.org/10.1080/10934529.2019.1596699	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	www.scielo.org.co EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN DEL COLORANTE AZUL DE METILE... http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100030	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
4	pure.unsa.edu.pe Kinetics and Adsorption Mechanisms of Lead (II) Using Gis-NaP... https://pure.unsa.edu.pe/en/publications/cinética-y-mecanismos-de-adsorción-de-plomo-ii-usando-z...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
5	www.doi.org https://www.doi.org/10.18684/BSAA.V16N1.624	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://deconceptos.com/general/situacion
2	https://deconceptos.com/ciencias-naturales/conveniencia
3	https://doi.org/10.1515/9783110240238
4	https://www.fundacionaquae.org/principales-datos-del-agua-en-el
5	https://www.fundacionaquae.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD	: Ingeniería Química
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN	: De la Facultad de Ingeniería Química
TÍTULO	: “Remoción de plomo en aguas sintéticas por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita”
AUTORES / CÓDIGO ORCID / DNI	: Katuska Mirsa, Montes Huachaca / 0009-0007-8424-289X / 76220752 Nancy Rocío, Vásquez Edquén / 0000-0003-0018-7787 / 73900821 Rubén Félix, Huamani Mallqui / 0009-0004-4238-808X / 72154374
ASESOR / CÓDIGO ORCID / DNI	: Dr. Juan Taumaturgo Medina Collana / 0000-0002-3625-8308 / 06213328
LUGAR DE EJECUCIÓN	: Laboratorios de Operaciones Unitarias (LOPU) y de Química de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional Del Callao, y laboratorio externo para análisis.
UNIDAD DE ANÁLISIS	: Agua sintética con contenido de plomo
TIPO / ENFOQUE / DISEÑO	: Aplicada / Cuantitativa / Experimental
TEMA OCDE	: Ingeniería de procesos

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

La presente Tesis fue sustentada por **HUAMANI MALLQUI RUBÉN FÉLIX, VÁSQUEZ EDQUÉN NANCY ROCÍO y MONTES HUACHACA KATIUSKA MIRSA**, ante el Jurado de Sustentación de Tesis conformado por los siguientes docentes designados por resolución de la Universidad Nacional del Callao:

Ing. SANEZ FALCON LIDA CARMEN	PRESIDENTE
Ing. RODRIGUEZ VILCHEZ RICARDO	SECRETARIO
Lic. CABRERA ARISTA CESAR	MIEMBRO
Ing. MEDINA COLLANA JUAN TAUMATURGO	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de actas N° 01 Folio N° 132 y Acta N° 131 de fecha veinticuatro de enero del 2024, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad a lo dispuesto en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150– 2023–CU del 30 de junio de 2023.

DEDICATORIA

A Dios por brindarnos salud y sabiduría para alcanzar este logro propuesto. A nuestros padres por el apoyo incondicional que nos brindaron, a nuestros familiares y amigos que nos motivaron a seguir superándonos y a nuestros profesores que nos orientaron durante la etapa profesional.

AGRADECIMIENTO

A nuestra familia por su constante apoyo en toda la etapa de desarrollo de esta tesis.

A nuestra alma máter la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao por brindarnos las herramientas y el espacio para llevar a cabo el presente trabajo de investigación, a nuestros docentes por los conocimientos compartidos durante nuestra etapa de formación universitaria, al Ing. Adalides Arenas quien fue nuestro primer mentor motivándonos a la investigación.

Y un agradecimiento especial a nuestro asesor el Dr. Juan Medina Collana por su constante orientación y apoyo en todo el proceso de investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. Descripción de la realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	11
1.2.1. Problema general	11
1.2.2. Problemas específicos	11
1.3. Objetivos	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos.....	11
1.4. Justificación.....	11
1.5. Delimitantes de la investigación.....	12
1.5.1. Teórica	12
1.5.2. Temporal	12
1.5.3. Espacial.....	12
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1. Antecedentes	13
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	13
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	15
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1. Plomo	17

2.2.2. Adsorción	18
2.2.3. Adsorción en columnas de lecho fijo	21
2.2.4. Magnetita	22
2.2.5. Zeolita	23
2.2.6. Isotermas de adsorción	23
2.3. Marco conceptual	25
2.4. Definición de términos básicos	26
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	30
3.1. Hipótesis	30
3.1.1. Operacionalización de variables	30
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	32
4.1. Diseño metodológico	32
4.2. Método de investigación	34
4.3. Población y muestra	39
4.4. Lugar de estudio y período desarrollado.....	39
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	39
4.6. Análisis y procesamiento de datos	40
4.7. Aspectos éticos en investigación	40
V. RESULTADOS.....	41
5.1. Resultados descriptivos.....	41
5.1.1. Determinación de porcentaje de remoción de plomo.....	41
5.1.2. Efecto del tiempo de contacto sobre la adsorción de Pb^{+2}	48
5.1.3. Estudio de la cinética de la remoción	50
5.1.4. Estudio de isotermas de adsorción.....	55
5.2. Resultados inferenciales.....	57
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.	60
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	60
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	61
VII. CONCLUSIONES	63
VIII. RECOMENDACIONES	64
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS.....	71
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	72
Anexo 2. Instrumentos utilizados en la investigación	73
Anexo 3. Fotos de la experimentación	75
Anexo 4. Informe de análisis de laboratorio externo	76
Anexo 5. Ficha técnica de zeolita.....	88
Anexo 6. Ficha técnica de la magnetita.....	89
Anexo 7. Especificaciones técnicas del filtro manga de 1µm	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Isotermas de adsorción.....	25
Tabla 2	Operacionalización de variables	31
Tabla 3	Factores y niveles de experimentación	32
Tabla 4	Condiciones constantes de trabajo	32
Tabla 5	Diseño experimental	33
Tabla 6	Dosis de adsorbentes	37
Tabla 7	Diseño experimental con porcentaje de remoción obtenido	41
Tabla 8	Porcentaje de remoción y capacidad de adsorción en 0, 3, 7, 15, 25 y 40 min.....	44
Tabla 9	Parámetros cinéticos de adsorción de Pb^{+2}	54
Tabla 10	Isotermas de Langmuir y Freundlich	55
Tabla 11	Parámetros de Langmuir y Freundlich	57
Tabla 12	Análisis de varianza (ANOVA) para % remoción de plomo	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mecanismo de adsorción	18
Figura 2	Zonas de adsorción desarrolladas en un lecho fijo	21
Figura 3	Etapas del proceso experimental	34
Figura 4	Diagrama de flujo de proceso del sistema de adsorción.....	35
Figura 5	Equipo del sistema de adsorción.....	36
Figura 6	Preparación y acondicionamiento del agua sintética	37
Figura 7	Acondicionamiento del lecho fijo	38
Figura 8	Porcentaje de remoción de plomo en cada tratamiento	43
Figura 9	Porcentaje de remoción de T1, T2, T3 y T4.	47
Figura 10	Porcentaje de remoción de T5, T6, T7 y T8.	47
Figura 11	Porcentaje de remoción de T9, T10, T11 y T12.....	48
Figura 12	Capacidad de adsorción de T1, T2, T3 y T4.....	49
Figura 13	Capacidad de adsorción de T5, T6, T7 y T8.....	49
Figura 14	Capacidad de adsorción de T9, T10, T11 y T12.....	50
Figura 15	Cinética de pseudo primer orden para Pb^{+2} de T1, T2, T3 y T4.	51
Figura 16	Cinética de pseudo primer orden para Pb^{+2} de T5, T6, T7 y T8.	51
Figura 17	Cinética de pseudo primer orden para Pb^{+2} de T9, T10, T11 y T12.	52
Figura 18	Cinética de pseudo segundo orden para Pb^{+2} de T1, T2, T3 y T4.	52
Figura 19	Cinética de pseudo segundo orden para Pb^{+2} de T5, T6, T7 y T8.	53
Figura 20	Cinética de pseudo segundo orden para Pb^{+2} de T9, T10, T11 y T12.	53
Figura 21	Isoterma de Langmuir aplicada para la adsorción de Pb^{+2}	56
Figura 22	Isoterma de Freundlich aplicada para la adsorción de Pb^{+2}	56
Figura 23	Efectos principales para el porcentaje de remoción de Pb^{+2}	58
Figura 24	Diagrama de Pareto	58
Figura 25	Gráfica de dispersión de variables	59

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ALAB: Analytical Laboratory

BBD: Box-Behnken

ICP: Plasma acoplado por inducción

INACAL: Instituto Nacional de Calidad

MTZ: Zona de transferencia de masa

LOPU: Laboratorio de Operaciones Unitarias

OMS: Organización Mundial de la Salud

UNAC: Universidad Nacional del Callao

RESUMEN

En el presente estudio, el objetivo fue la remoción de plomo en aguas sintéticas por adsorción con una mezcla de magnetita y zeolita como adsorbente, utilizando una columna de lecho fijo. La metodología fue experimental a nivel de laboratorio, donde se analizaron los factores: dosis de adsorbente (1/3, 1/2 y 1/1 p/p), concentración inicial de Pb^{+2} (12 y 25 ppm) y pH (3 y 5,6). Para el diseño experimental se utilizó la metodología de 3 factores, con 3 niveles en el primer factor y dos en los dos consiguientes; desarrollando 12 tratamientos al tiempo de trabajo establecido de 40 minutos cada uno. Así mismo, se estudió la cinética de adsorción y las isotermas de Langmuir y Freundlich. En los resultados, el mayor porcentaje de remoción de iones Pb^{+2} igual a 93.28 % se obtuvo en el tratamiento T10, bajo las condiciones: dosis de adsorbente de 1/1 p/p, concentración inicial de Pb^{+2} de 11.71 mg/L y pH 5.6. Para dicho tratamiento la cinética se ajusta a la ecuación de pseudo-segundo orden con una constante de velocidad promedio (k_2) de 1,4821 g/mg.min. En la evaluación de las isotermas de adsorción del tratamiento T10, las condiciones de trabajo se ajustaron a las isotermas de Langmuir y Freundlich. Finalmente, se concluye que la mezcla de magnetita y zeolita es un adsorbente prometedor para separar y recuperar iones de plomo (II) de agua contaminada.

Palabras clave: Plomo, agua sintética, remoción, adsorción, magnetita, zeolita.

ABSTRACT

In the present study, the objective was the removal of lead in synthetic waters by adsorption with a mixture of magnetite and zeolite as adsorbent, using a fixed bed column. The methodology was experimental at laboratory level, where the following factors were analyzed: adsorbent dose (1/3, 1/2 and 1/1 w/w), initial Pb^{+2} concentration (12 and 25 ppm) and pH (3 and 5.6). For the experimental design, the 3-factor methodology was used, with 3 levels in the first factor and two in the two subsequent factors; developing 12 treatments at the established working time of 40 minutes each. The adsorption kinetics and the Langmuir and Freundlich isotherms were also studied. In the results, the highest percentage of Pb^{+2} ion removal equal to 93.28 % was obtained in treatment T10, under the conditions: adsorbent dose of 1/1 w/w, initial Pb^{+2} concentration of 11.71 mg/L and pH 5.6. For such treatment the kinetics conforms to the pseudo-second order equation with an average rate constant (k_2) of 1.4821 g/mg.min. In the evaluation of adsorption isotherms of the T10 treatment, the working conditions were adjusted to both Langmuir and Freundlich isotherms. Finally, it is concluded that the mixture of magnetite and zeolite is a promising adsorbent for separating and recovering lead (II) ions from contaminated water.

Keywords: Lead, synthetic water, removal, adsorption, magnetite, zeolite.

INTRODUCCIÓN

Según Obeso [1], en el Perú existe un alto índice de contaminación de aguas superficiales y subterráneas por los residuos tóxicos, como el metal plomo, el cual está presente de forma natural en la corteza terrestre, que puede provocar una intoxicación potencialmente mortal y causar efectos negativos a largo plazo para la salud. La exposición puede ser consecuencia de la ingestión de sustancias o productos que contienen plomo, de la inhalación de vapores durante la exposición ocupacional, o de la exposición a contaminantes ambientales según la OMS [2].

Algunas tecnologías para remover los iones de metales pesados son la precipitación química, la adsorción, separación por membranas, intercambio de iones, electrodiálisis y procesos biológicos [3]. Por ello, la técnica viable seleccionada para el proceso de remoción de plomo en aguas en el presente trabajo es la adsorción, la cual es un fenómeno de transferencia de materia entre fases, utilizada ampliamente en los tratamientos para eliminar sustancias de las fases fluidas [4]. La adsorción es utilizada debido a las ventajas que genera como su bajo costo, alta eficiencia, facilidad de operación, facilidad de implementación, la posibilidad de usar varios sólidos como materiales adsorbentes y la posibilidad de recuperar el adsorbente y el adsorbato [5, 6].

La presente investigación tuvo como objetivo remover plomo presente en aguas empleando la mezcla de magnetita y zeolita como adsorbentes, de esta forma reducir el impacto en el medio ambiente y en la salud de las personas. Se pretendió lograr la remoción de este metal mediante el uso de un lecho fijo trabajando de forma discontinua.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Diversos sectores industriales generan un alto impacto ambiental negativo, por ejemplo, la minería en gran parte no realiza un tratamiento eficaz a sus efluentes, con ello incrementa el índice de contaminación de aguas superficiales y subterráneas por los residuos tóxicos presentes.

Según Aquae Fundación [7], el análisis de la problemática que ya se vive; para el 2025, 2000 millones de personas tendrán una absoluta escasez de agua y su dotación por habitante será menor a 500 metros cúbicos anuales recomendados, cantidad de líquido vital para que una persona viva sana e higiénicamente.

Se calcula que casi la mitad de los 2 millones de vidas perdidas por exposición a productos químicos conocidos fue por la exposición al plomo. Se estima que la exposición al plomo provocó la pérdida de 21.7 millones de personas por discapacidad y muerte en todo el mundo debido a sus efectos a largo plazo en la salud. La OMS considera el plomo uno de los 10 productos químicos que suscitan una mayor preocupación para la salud pública y que requieren la intervención de los Estados Miembros para proteger la salud de los trabajadores, los niños y las mujeres en edad reproductiva. [8]

Tejada y Tovar [9], indican que algunos de los métodos existentes para la retención y extracción de metales pesados de las fuentes hídricas requieren exceso de reactivos, altos costos de inversión, energéticos y de operación, generan grandes desechos y fallan en no reducir considerablemente la concentración de estos metales.

Debido a la existencia de dicha problemática nos hemos visto con la necesidad de desarrollar un nuevo proceso de adsorción para ver la reducción de los metales pesados y contrarrestar los impactos. Por ende, este trabajo de investigación apuesta en la remoción del catión plomo mediante adsorción utilizando magnetita y zeolita en un lecho fijo en aguas sintéticas a nivel laboratorio.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el porcentaje de remoción de plomo en aguas sintéticas por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál será la dosis de magnetita / zeolita en la remoción de plomo en aguas sintéticas?

¿Cuáles serán las condiciones de trabajo para la remoción de plomo en aguas sintéticas?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el porcentaje de remoción de plomo en aguas sintéticas por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar la dosis de magnetita / zeolita en la remoción de plomo en aguas sintéticas.

Determinar las condiciones de trabajo para la remoción de plomo en aguas sintéticas.

1.4. Justificación

El desarrollo de la presente investigación tiene como fin la reducción de plomo en aguas sintéticas empleando un proceso de adsorción, utilizando la mezcla de magnetita y zeolita como adsorbentes, seleccionados por su alta porosidad, gran afinidad de sus sitios activos con los metales, buena capacidad de adsorción, alta capacidad como adsorbentes y una gran área de contacto.

Este modelo propuesto ayudará a futuras investigaciones relacionadas con este método de adsorción, de tal manera que, al ser aplicados en la industria, se reducirá el impacto en el medio ambiente logrando que un efluente con altos niveles de concentración de plomo cumpla los límites máximos permisibles.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Teórica

Existe información en la literatura respecto al proceso de adsorción de metales, mediante magnetita y/o zeolita, presentes en aguas residuales.

1.5.2. Temporal

Nuestro abastecimiento de adsorbente demora aproximadamente 15 y 5 días hábiles para la magnetita y zeolita respectivamente, ya que la magnetita es importada y la zeolita depende de un proveedor local. El tiempo considerado en este estudio fue de 4 meses.

1.5.3. Espacial

Esta investigación se desarrolló en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU) y el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao; así mismo, los análisis de muestras de la investigación se obtuvieron mediante el laboratorio externo ALAB Analytical Laboratory acreditado por INACAL.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación **“Optimización y Diseño Experimental del Proceso de adsorción de Pb^{+2} en un Adsorbente de Nano- Fe_3O_4 basado en la metodología de superficie de respuesta”**, los autores consideran la problemática de los efectos toxicológicos del plomo sobre la salud para realizar la investigación. La metodología consistió en caracterizar el adsorbente; investigar y analizar la influencia de las variables de proceso en la adsorción de Pb^{+2} por la matriz de diseño de Box-Behnken (BBD) con cinco variables (pH, dosis de adsorbente, concentración inicial de iones Pb^{+2} , tiempo de contacto y temperatura). A partir del análisis de varianza observaron que el pH y la temperatura son los parámetros más significativos que afectan la capacidad de adsorción de iones. Finalmente establecieron una correlación cuadrática para calcular las condiciones óptimas y se encontró que la R^2 valor (0.99) está en buen acuerdo con ajustado R^2 (0.98). Como resultado de optimización el proceso tendría pH 6, una dosis de adsorbente de 10 mg y un Pb^{2+} inicial de 110 mgL^{-1} en 40 minutos a los 40°C de adsorción. Lográndose un máximo de 98.4 % y concluyendo que es eficaz la adsorción. [10]

En la investigación **“Adsorbente recuperable de zeolita natural / Fe_3O_4 para la eliminación de Pb (II) en agua”**, el autor compara la zeolita- Fe_3O_4 obtenida por coprecipitación con la obtenida por impregnación para analizar su eficacia removiendo plomo. La adsorción de plomo (II) se llevó a cabo mediante un experimento por lotes, en el que optimizó los parámetros de operación, incluyendo la masa del adsorbente, el pH y el tiempo; estudió la influencia de la fracción de Fe_3O_4 sobre la capacidad de adsorción y la recuperabilidad. También determinó la cinética y la isoterma de adsorción. Como resultados, la fracción de 33.3 % p/p de Fe_3O_4 en el adsorbente tiene mejor capacidad de adsorción y recuperabilidad, en comparación con 25 % p/p y 50 % p/p. La adsorción máxima de Pb (95.15 %) de 1L de solución de 150 mg/L alcanza utilizando 1.25 g de masa adsorbente, pH 3 y tiempo de contacto de 90 min. La cinética de adsorción

se ajusta mejor a un pseudo segundo orden con una tasa de adsorción 3.752 g/mg·min, es descrita por el modelo de isoterma de Langmuir con 55.249 mg/g. Concluyendo que la co-precipitación tiene una mayor área superficial, mejor dispersión de Fe₃O₄, mayor recuperabilidad, y la misma capacidad de adsorción en comparación con la de la técnica de impregnación. [11]

En la investigación **“Evaluación de la remoción de plomo y mercurio de aguas sintéticas utilizando zeolitas hidrotermales sintetizadas en pruebas de laboratorio y propuesta de diseño de sistemas de adsorción industriales”**, los autores tuvieron como objetivo evaluar la remoción de plomo y mercurio utilizando la zeolita A y la zeolita Sodalita sintetizadas por el método hidrotermal y la que tenga mejor rendimiento, fue evaluado en diseño de adsorción en lecho fijo y lecho agitado. Dando como resultado de la comparación que para un pH 7 la Sodalita presentó una mayor eficiencia de remoción de: 93.59 y 99.72 % para mercurio y plomo respectivamente en un tiempo de 8 h con concentración inicial 10 mg/L de cada contaminante. En el diseño de adsorción en lecho fijo y lecho agitado (batch) se concluye que el primero permitirá trabajar con un mayor caudal (43.2 m³/d y 30 m³/d), pero el lecho agitado permite una remoción del 90 %. [12]

En la investigación **“Un estudio comparativo sobre el uso de materiales similares a la zeolita en la eliminación de metales pesados y amonio de las aguas residuales”**, el objetivo del autor fue evaluar las zeolitas sintéticas (zeolita tipo Lynde Tipo A a partir de metacaolinita) y naturales (toba riolítica rica en clinoptilolita) para remover metales pesados y amonio de aguas contaminadas. Las pruebas de sorción se realizaron en recipientes con una capacidad de 100 ml mediante reacciones de tipo discontinuo a temperatura ambiente, utilizando una dosis determinada de sorbente (mezcla sorbente: solución de 0.25 g/20 ml) y la suspensión se mantuvo en un agitador rotatorio con una velocidad de agitación constante de 150 rpm. Como resultados, la eficiencia muestra que las zeolitas sintéticas pueden alcanzar una capacidad de intercambio catiónico apropiada para su aplicación en el tratamiento de aguas residuales industriales. [13]

En el trabajo de investigación **“Adsorción de plomo mediante gránulos de Nanohidroxiapatita en una columna de lecho fijo”**, los autores tuvieron como objetivo la adsorción de iones Pb^{+2} en una columna de lecho fijo utilizando gránulos de nanohidroxiapatita. Para ello mediante el método de precipitación y el método de secado por pulverizado se obtuvo el adsorbente para el sistema de columna de lecho fijo. Las pruebas se realizaron en una columna de vidrio con 1 cm de diámetro interior, evaluando el efecto del caudal (5, 10 y 15 ml/min), efecto de la concentración inicial de plomo (200 y 500 mgPb/L) y la altura del lecho (10, 15 y 20 mm). Concluyendo que, al aumentar el caudal, se consiguen tiempos de residencia cortos, los tiempos de agotamiento disminuyen al aumentar la concentración de plomo ya que los sitios de unión se saturan más rápido y que a una mayor altura de lecho los iones de plomo tienen el tiempo necesario para difundirse en la superficie del adsorbente. [14]

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la investigación **“Intensificación de la eliminación de plomo, cobre y antimonio utilizando adsorción de algas pardas acoplada a cavitación hidrodinámica”**, el autor realizó la preparación de un adsorbente de perlas de alginato de calcio a partir de algas pardas (*Macrosistis pyrifera*) con el fin de la eliminación de iones Pb^{2+} , Cu^{2+} , y Sb^{3+} de soluciones acuosas, utilizando una columna de lecho fijo. Utilizó la metodología de cinco factores de Taguchi en el cual el Experimento N° 24 tubo concentración, 10 mg/L; velocidad de flujo, 10 mL/s; masa adsorbente, 10 g; cavitación hidrodinámica con flujo de aire máximo y tiempo de tratamiento de 240 min y dio como resultado una eliminación máxima del 92 %, 78 % y 16 % de iones de plomo, cobre y antimonio, respectivamente. En el proceso de adsorción, se aproximan mucho a las isothermas de Langmuir y Freundlich, con capacidades de adsorción para Pb^{2+} , Cu^{2+} , y Sb^{3+} de 7.60, 2.07 y 0.37 mg/g, respectivamente. Concluyó que el alginato de calcio es un adsorbente prometedor para separar y recuperar iones de metales pesados del agua contaminada. [3]

En la investigación **“Remoción de plomo mediante el uso de polvo de Cáscara de Musa Paradisiaca (Banano), a nivel de laboratorio”** debido a la problemática de la contaminación del agua por metales pesados como el plomo;

el objetivo de los autores fue determinar la capacidad que tiene el polvo de cáscara de banano para la remoción del plomo. En el proceso experimental utilizaron la cascará de *Musa paradisiaca* secado, pulverizado y tamizado, quedando un material bioadsorbente gracias a sus componentes lignocelulósicos, el cual tiene hidroxilos. Utilizaron tres muestras (5 g, 15 g y 25 g) del material bioadsorbente en 1 litro de agua contaminada de plomo (agua sintética con una contaminación de 53.7 ppm de plomo a base de Nitrato de Plomo), obteniendo capacidades de remoción de plomo de 89.97 %, 93.64 % y 94.82 % respectivamente. Concluyeron que es eficaz la utilización de banano para la remoción de plomo debido que los cationes del plomo se adhieren a los iones negativos que tiene el polvo de cascara de *musa paradisiaca*. [1]

En la investigación **“Nanohíbridos magnéticos para la nanorremediación de agua real contaminada con plomo”**, el autor tuvo como objetivo remover plomo ($Pb(NO_3)_2$) utilizando nanomateriales híbridos de zeolita tipo 5A y nanopartículas magnéticas como la magnetita sintetizada por el método de co-precipitación química. En la metodología, evaluó 3 cinéticas: muestras del río Mantaro con magnetita, muestra de rio Cumbaza con magnetita y muestra del rio Cumbaza con magnetita - zeolita tipo 5A, trabajando a un pH de 5.5, temperatura ambiente y una velocidad de agitación de 250, 550 y 550 rpm respectivamente. Obteniendo como resultado que la adsorción con magnetita-zeolita tipa 5A obtuvo un rendimiento del 96 % en 15 minutos y concluyendo que la magnetita-zeolita es una gran opción como adsorbente para la remediación de metales pesados. [15]

En el trabajo de investigación **“Cinética y mecanismos de adsorción de Plomo (II) usando zeolita Gis-NaP obtenida a partir de residuos de ladrillo”**, el objetivo del autor fue evaluar la cinética y mecanismos de adsorción de Pb^{2+} de una zeolita sintética del tipo Gis-NaP. En la metodología hizo uso de modelos cinéticos: Pseudo-primer orden, Pseudo-segundo orden, Evolich, Difusión intrapartícula; y modelos isotérmicos: Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich y Tenmkin. Como resultados se tiene que el modelo de pseudo-primer orden ($R^2 = 0.9983$) describe mejor la cinética de adsorción y la isoterma de Freundlich explica mejor el mecanismo de adsorción de Pb^{+2} ($R^2 = 0.980$). Además, con un tiempo de contacto de 8 horas, se consigue la saturación del

material zeolítico alcanzando una adsorción de 109.8 mg/g de Pb^{+2} . El autor concluye que la zeolita Gis-NaP tiene una alta eficiencia de remoción de Pb^{+2} ; y así mismo, sus sitios activos son energéticamente heterogéneos y presentan diferentes afinidades. [16]

En la investigación **“Adsorción de Cadmio, Cobre y Plomo en Bentonita, Caolín y Zeolita Naturales y Modificadas: Una Revisión de los Parámetros de Operación, Isotermas y Cinética”**, el objetivo del autor fue revisar, analizar y comparar los estudios realizados referentes a la adsorción de cadmio, cobre y plomo por bentonita, caolín y zeolita, naturales y modificadas. Trabajó con zeolita modificada con óxido de magnesio y obtuvo valores de remoción para cadmio, cobre y plomo 1.5 veces mayores en comparación con las zeolitas tratadas. En los resultados se determinó que el proceso de adsorción de metales pesados está influenciado por factores como el pH, cuando se trabaja con zeolita es mejor un pH bajo (entre 3 y 5), el pH mayor a 6 no es favorable para incrementar la adsorción de Pb (II), el rango de temperatura es de 293.15 K- 333.15 K. De los métodos estudiados para el plomo (II) el más efectivo fue usando una operación de columna de adsorción de lecho fijo, empezando con una concentración de metal mg/L usando como adsorbente Zeolita-Bentonita-Caolín modificado con Anillos Raschig calcinados, la capacidad máxima de adsorción (mg/g) fue de 140.9 mg/L. En relación con el equilibrio de adsorción en la mayoría de estudios revisados, la isoterma de Langmuir es la que mejor se ajusta a los datos y, en menor cantidad de trabajos, la isoterma de Freundlich, D-R, Sips y Temkin para predecir el equilibrio de adsorción. Finalmente, concluye que el uso de bentonita, caolín y zeolita es efectivo para la remoción de cadmio, cobre y plomo de soluciones acuosas. [17]

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Plomo

El plomo es un metal maleable de color gris azulado, su punto de fusión es 327.4 °C y su punto de ebullición es 1725 °C, con una densidad de 11.35 g/ml. Es insoluble en agua. Su número atómico es 82 y su peso atómico es 207.19 g/mol. Es resistente al ácido sulfúrico y clorhídrico, pero se disuelve con facilidad en ácido nítrico concentrado y ácidos orgánicos, originando sales solubles. El

plomo forma compuestos en los que su estado de oxidación es de 2^+ y 4^+ , siendo el más común de ellos 2^+ , es de importancia resaltar que a partir de los 600°C desprende abundantes vapores entonces este meta puede ser inhalado en forma de vapores, polvo fino ambiental o de humo. Es radiopaco y tiene una excelente resistencia a la corrosión en el aire, agua y suelo. [18]

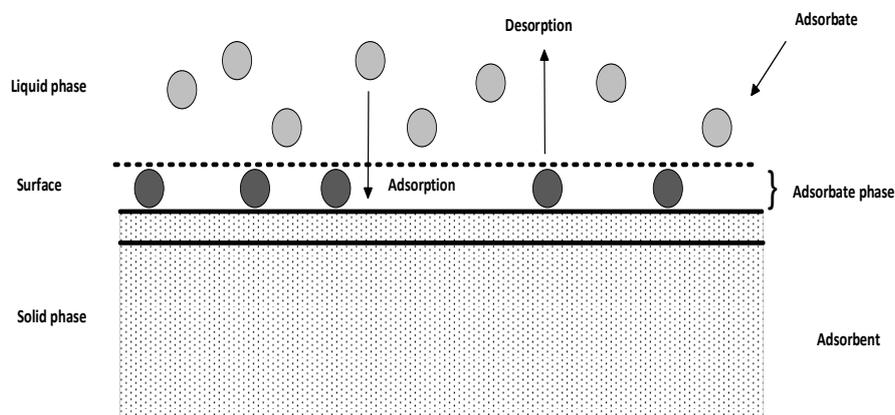
Los daños del plomo a la salud por exposición son alteraciones a nivel hematológico como anemia y presencia de eritrocitos. Esto también influye en el sistema nervioso [19].

2.2.2. Adsorción

La adsorción es un fenómeno de transferencia de materia entre fases, el cual se utiliza ampliamente en los tratamientos para eliminar sustancias de las fases fluidas. Este se puede definir como: “el enriquecimiento de especies químicas de una fase fluida en la superficie de un sólido”, en la fase intermedia llamada interfase, donde tiene lugar la adsorción entre la fase líquida que tiene el componente que deseamos eliminar y el otro componente que es el adsorbente, como se muestra en la figura 1. [4]

Figura 1

Mecanismo de adsorción



Fuente: Worch Eckhard (2012).

La adsorción es utilizada para el tratamiento de agua debido a las ventajas que genera: bajo costo, alta eficiencia, facilidad de operación, facilidad de

implementación, la posibilidad de usar varios sólidos como materiales adsorbentes y la posibilidad de recuperar el adsorbente y el adsorbato [5, 6].

Cinética de adsorción. - La adsorción de solutos de una solución depende en gran medida por la competencia entre las moléculas de soluto y solvente por los sitios de adsorción. La solubilidad es una medida directa de la afinidad del soluto por el solvente, y hay una relación inversa entre la solubilidad del adsorbato y la capacidad de adsorción. Los solutos menos solubles tienden a adsorberse más fácilmente y los más solubles tienden a adsorberse menos fácilmente. [20, 21]

La ecuación general de la cinética de adsorción [3] es:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_n(q_e - q_t)^n \quad (1)$$

Donde:

- q_e : capacidad de adsorción (mg/g)
- q_t : capacidad de adsorción en un tiempo "t" (mg/g)
- K_n : constante de velocidad de adsorción (min^{-1})
- n: orden de cinética de adsorción
- t: tiempo (min)

Teniendo en cuenta para determinar la capacidad de adsorción mediante la ecuación (2).

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad (2)$$

Donde:

- q_e : capacidad de adsorción (mg/g)
- C_o : concentración inicial (mg/L)
- C_e : concentración en el equilibrio (mg/L)
- V: volumen de la solución (L)
- m: masa de adsorbente (g)

a. Modelo cinético de pseudo primer orden

Para evaluar la cinética de adsorción, el modelo cinético de pseudo-primer orden ha sido utilizado y encontrado para ajustarse a los datos experimentales. Dicho modelo se obtiene integrando la ecuación general (1); y considerando para primer orden $n=1$ y para condiciones de contorno ($t=0, q_t=0, t=t$ y $q_t=q_e$), la forma lineal del modelo [3] es:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (3)$$

Donde:

- q_e : capacidad de adsorción (mg/g)
- q_t : capacidad de adsorción en un tiempo "t" (mg/g)
- k_1 : constante de velocidad de adsorción de primer orden (mín^{-1})
- t : tiempo (min)

La constante se puede obtener graficando $\log (q_e - q_t)$ versus t , y aplicando regresión lineal a la ecuación (3).

b. Modelo cinético de pseudo segundo orden

Los datos de adsorción también se analizan mediante un modelo cinético de pseudo segundo orden. Dicho modelo se obtiene integrando la ecuación general (1); y considerando para segundo orden $n=2$ y para condiciones de contorno ($t=0, q_t=0, t=t$ y $q_t=q_e$), la forma lineal del modelo [3] es:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_e^2 k_2} + \left(\frac{1}{q_e}\right) t \quad (4)$$

Donde:

- q_e : capacidad de adsorción (mg/g)
- q_t : capacidad de adsorción en un tiempo "t" (mg/g)
- k_2 : constante de velocidad de adsorción de segundo orden (g/mg.min)
- t : tiempo (min)

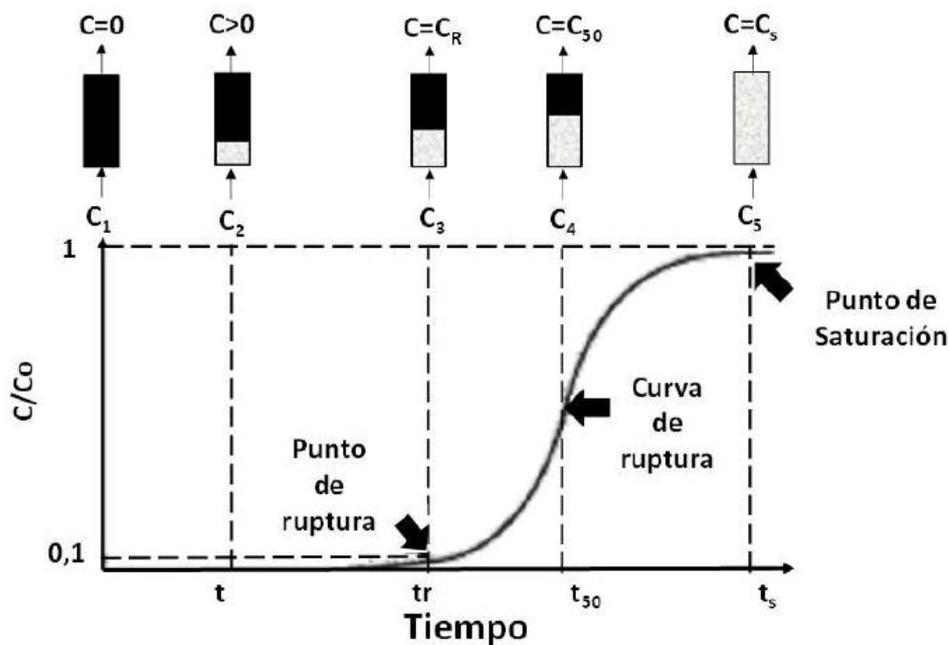
El valor de la constante k_2 se puede determinar por la pendiente y la intersección de los gráficos de línea recta de " t/q_t versus t ".

2.2.3. Adsorción en columnas de lecho fijo

El proceso de adsorción en columnas de lecho fijo consiste en la remoción en hacer fluir una solución contaminada con adsorbato, para su remoción, a velocidad constante a través del lecho. En estas operaciones a medida que avanza el tiempo el adsorbato se va acumulando en el lecho de adsorción. [22]

Figura 2

Zonas de adsorción desarrolladas en un lecho fijo



Fuente: Álvarez (2014).

La figura 2 es conocida como la curva de ruptura y es la representación de la variación C/C_0 de contaminante en función del tiempo hasta su completa saturación (C_s), donde C_0 es la concentración inicial del compuesto en el efluente, C la concentración final del mismo en un determinado momento y C_R la concentración en el punto de ruptura a 10 % de su concentración inicial [23].

Inicialmente la parte inferior del adsorbente remueve rápidamente el soluto, así que el fluido que sale de la columna está prácticamente libre del mismo. Como el volumen de líquido que atraviesa la columna aumenta, la zona de transferencia de masa (MTZ) comienza a desplazarse y la concentración del soluto a la salida aumenta con el tiempo, al valor máximo en la concentración

que se permite a la salida de la columna, y se denomina punto de ruptura, y al tiempo empleado para alcanzar esta concentración se le llama tiempo de ruptura (t_r). Cuando la zona de transferencia de masa sale de la columna, el lecho está completamente saturado y la concentración a la salida es la misma de la entrada. [24]

Otras ventajas de emplear columnas de lecho fijo para procesos industriales de adsorción son tiempos de residencia más altos y mejores características de transferencia de calor y masa que los reactores discontinuos [25].

2.2.4. Magnetita

Es un mineral de hierro (Fe_3O_4), es parte de un grupo de minerales llamados óxidos; se halla diseminada en muchas rocas ígneas, en ocasiones formando grandes masas de mineral que generalmente son muy titaníferas y aparece asociada a rocas metamórficas cristalinas [26].

El efecto del campo magnético sobre la magnetita es consecuencia de un flujo de electrones, y su propiedad de magnetismo se debe a un fenómeno de ferromagnetismo: los momentos magnéticos de los distintos cationes de hierro del sistema se encuentran fuertemente acoplados, por interacciones antiferromagnéticas, pero de forma que en cada celda unidad resulta un momento magnético no compensado. Siendo este el responsable de que la magnetita se comporte como un imán. [27]

Químicamente la magnetita Fe_3O_4 es un óxido mixto de hierro; 27.6 % de oxígeno y 72.4 % de hierro. Presenta un sistema cúbico centrado en las caras (FCC de oxígenos, $a = 8.40 \text{ \AA}$) con estructura de espinela inversa. Su relación estequiométrica de cationes se expresa en la forma $Fe^{+3}(Fe^{+2}Fe^{+3}) O_4$. [26, 27]

El punto de fusión de la magnetita es de $1590 \text{ }^\circ\text{C}$ y de ebullición a 2623°C . Los calores de fusión, descomposición y vaporización son 138.16 kJ/mol , 605.0 kJ/mol y 298.0 kJ/mol , respectivamente. Esto hace de la magnetita un material estable térmicamente. A temperatura ambiente posee

conductividades en el rango de $10^2 - 10^3 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ y por lo tanto es un semiconductor. [28]

2.2.5. Zeolita

Las zeolitas son un conjunto de minerales porosos con una estructura tridimensional pertenecientes a la familia de los tectosilicatos; son aluminosilicatos cristalinos en forma de tetraedros de silicio $(\text{SiO}_4)^{4-}$ y aluminio $(\text{AlO}_4)^{5-}$ conectados como en una red por medio de átomos de oxígeno, en las esquinas [29].

Las zeolitas debido a su flexibilidad y adaptabilidad atraen la atención para conocer sus propiedades; entre ellas están su alto grado de hidratación, alta porosidad, baja densidad, sirven como tamices moleculares, son intercambiadores iónicos, y poseen buena capacidad de adsorción. Las propiedades están dadas principalmente por el tamaño de poro y por la naturaleza de este, puesto que en ellos es donde se encuentran mayormente los sitios activos de la zeolita. [30]

En las industrias presenta ventajas como reducción de la acidez del agua, es el medio filtrante más durable, tiene una capacidad de flujo 4 veces superior a la de los medios filtrantes convencionales, incrementa el flujo en equipos con multimedia y sistemas de gravedad y presión comparado con los filtros de arena, y requiere de un retro lavado simple de forma periódica para mantener su eficiencia y su desempeño [30].

2.2.6. Isotermas de adsorción

A. Isoterma de adsorción de Langmuir.- Es empleada en los estudios de adsorción por lote, según reportes de científicos se usa ampliamente en el ajuste de datos experimentales relacionados con la eliminación de metales pesados [31]. El modelo de Langmuir se basa en la suposición de que todos los sitios de adsorción son igualmente activos [3]. Este modelo asume que la adsorción ocurre en sitios específicos de la superficie del adsorbente y en cada uno de ellos se puede acomodar sólo una molécula, para una cobertura en monocapa [31, 32]. A partir del modelo de isoterma de Langmuir se puede estimar la capacidad máxima de adsorción producida por el cubrimiento

completo en monocapa de la superficie del adsorbente [33]. La forma lineal del modelo se expresa como sigue [3]:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{bq_{max}C_e} + \frac{1}{q_{max}} \quad (5)$$

Donde:

- q_e : capacidad de adsorción (mg/g)
- C_e : concentración en el equilibrio (mg/L)
- q_{max} : constante de Langmuir, capacidad máxima de adsorción del adsorbente (mg/g)
- b : constante de Langmuir, constante de energía (L/mg)

Las constantes se pueden obtener graficando $1/C_e$ versus $1/q_e$ y aplicando regresión lineal a la ecuación (5).

B. Isotherma de adsorción de Freundlich.- Este modelo supone que la superficie del adsorbente es heterogénea y que los sitios de adsorción tienen distintas afinidades; en primer lugar, se ocupan las posiciones de mayor afinidad y posteriormente se va ocupando el resto, para un crecimiento en multicapa [34]. La forma linealizada del modelo de Freundlich se expresa de la siguiente manera [3]:

$$\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (6)$$

Donde:

- q_e : capacidad de adsorción (mg/g)
- C_e : concentración en el equilibrio (mg/L)
- k_f : constante de Freundlich, constante de equilibrio (mg/g(L/mg)^{-1/n})
- n : constante relacionada con la afinidad entre el adsorbente y el soluto ($n > 1$ representan condiciones de adsorción favorables)

Las constantes se pueden obtener graficando $\ln q_e$ versus $\ln C_e$ y aplicando regresión lineal a la ecuación (6).

En la tabla 1 se presenta resumen de las ecuaciones de isothermas de adsorción.

Tabla 1

Isotermas de adsorción

Isoterma	Ecuación Matemática
Langmuir	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{bq_{max}C_e} + \frac{1}{q_{max}}$
Freundlich	$\ln q = \ln k + \frac{1}{n} \ln C_e$

Fuente: Medina et al. (2023).

2.3. Marco conceptual

La presencia de metales pesados en el medio ambiente es una de las principales problemáticas actuales a nivel mundial. Las principales fuentes de contaminación ambiental con metales pesados surgen de las diferentes industrias, siendo así una fuente de contaminación los residuos procedentes de los vertidos industriales, en la cual los metales están contaminando directamente el agua. Entre estos metales está el plomo, el cual no es biodegradable y puede acumularse en los tejidos vivos, con lo que se concentra en toda la cadena alimentaria y puede ser fácilmente absorbido por el cuerpo humano. El alto grado de toxicidad de este elemento químico causa efectos en la salud del ser humano, incluso a bajas concentraciones puede causar algunas enfermedades como anemia, hepatitis y síndrome nefrótico; pueden causar daños fisiológicos o neurológicos graves, causando así retardo mental y daño cerebral semipermanente en niños pequeños. Es en general un veneno metabólico e inhibidor de enzimas.

Ante la problemática de la contaminación del agua con plomo, existen diferentes técnicas para remover dicho metal, como coagulación, precipitación química, separación por membrana, ósmosis inversa, adsorción, entre otros. La adsorción podría ser la mejor opción para este objetivo debido a que es sencilla, eficaz, tiene bajo costo y corta duración. En la adsorción es necesario un

adsorbato (en este caso iones Pb^{+2}) y un adsorbente; para seleccionar un adsorbente se debe tener en cuenta algunas características como la disponibilidad, costo, características fisicoquímicas, capacidad de adsorción, eficacia y cinética; por ello la magnetita y zeolita son los adsorbentes usados. Mediante la adsorción los iones Pb^{+2} son atrapados en la mezcla de magnetita con zeolita. La velocidad de la adsorción del plomo es descrita por la cinética de adsorción mediante modelos cinéticos los cuales pueden ser pseudo-primero orden o pseudo-segundo orden, determinando así el tiempo en que se alcanza el equilibrio.

Emplear un sistema columna de lecho fijo con recirculación ayuda a mejorar la eficiencia de nuestro proceso permitiendo flujos por tiempo controlados, el adsorbente empleado una mezcla de magnetita y zeolita, que le da propiedades magnéticas a nuestro adsorbente potenciándolo y mejorando su eficiencia, fue estudiado con diversos metales pesados por lo que presenta una alta afinidad, los sitios activos por la porosidad de la zeolita permite crear un enlace físico capturando al adsorbato, a través de las isothermas de Langmuir y Freundlich, nos permitió conocer las capacidades de adsorción se tuvo en cuenta el punto de quiebre para no saturar al adsorbente y realizar la desorción de acuerdo a los parámetros que presentamos en nuestro proceso.

2.4. Definición de términos básicos

Adsorbente: Sustancia, generalmente sólida y de estructura porosa, con una gran capacidad de adsorción [35].

Área superficial: Es una medida del área total que ocupa la superficie del objeto y controla la interacción química entre sólidos y líquidos o gases [36].

Agua sintética: sustrato de agua con las condiciones y parámetros característicos con analitos de interés realizado a nivel laboratorio [1].

Cinética de adsorción: La cinética describe la velocidad de adsorción del adsorbato en el adsorbente y determina el tiempo en que se alcanza el equilibrio [35].

Columna de adsorción: Tubo en posición vertical, de lecho fijo que permite la adsorción de sustancias sobre una superficie sólida [37].

Lecho fijo: Se refiere cuando se tienen rangos de flujo o velocidades bajas que ocasionan que las partículas se encuentren descansando unas sobre otras en la parte baja de la columna [38].

Remoción: Quitar un elemento, objeto o un sujeto de un medio, lugar o de una situación, por motivos diversos (inutilidad, riesgo, aseo, estética, cambio de gustos, conveniencia, etc) [39].

Toxicidad: es la capacidad o grado de efectividad que posee una sustancia química de producir efectos perjudiciales por su composición sobre un ser vivo, al entrar en contacto con él [40].

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general

La remoción de plomo en aguas sintéticas será mayor al 90 % por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita.

Hipótesis específicas

La dosis de magnetita / zeolita para la remoción de plomo será 1/2 p/p.

Las condiciones de trabajo para la remoción de plomo en aguas sintéticas serán a un pH de 5.6 y concentración inicial de 12 ppm.

3.1.1. Operacionalización de variables

Variable dependiente

Y = Porcentaje de remoción de plomo por adsorción de un de lecho fijo de magnetita y zeolita.

Variables independientes

X₁: Dosis de magnetita / zeolita

X₂: Condiciones de trabajo.

Tabla 2*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO	TÉCNICA
Y: Porcentaje de remoción de plomo por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita.	Para la remoción de plomo de las fases fluidas se puede emplear el proceso de adsorción con adsorbentes por su gran área superficial cinética y selectividad [12].	Mediciones iniciales y finales de las concentraciones de plomo.	Concentración inicial de plomo	ppm	Instrumental	Espectroscopia atómica
			Concentración final de plomo	ppm	Instrumental	Espectroscopia atómica
			% Remoción	%	Cálculos	Medición de concentraciones
X ₁ : Dosis de magnetita / zeolita	Dosis del adsorbente para remoción de plomo [12].	Relación de magnetita / zeolita para la remoción de plomo.	Relación en peso	1/1, 1/2, 1/3 p/p	Balanza	Gravimetría
X ₂ : Condiciones de trabajo	En las condiciones de trabajo de un lecho fijo para la operación de adsorción se considera adsorbente, relación soluto / adsorbente, tiempo de contacto, pH y caudal [41].	Condiciones de trabajo de adsorción de un lecho fijo para la remoción de plomo.	pH	3 y 5.6	Potenciómetro	Potenciometría
			Concentración inicial	12 y 25 ppm	Instrumental	Espectroscopia atómica

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

El presente trabajo de investigación es aplicada; por su enfoque, cuantitativo porque usa la recolección de datos para probar la hipótesis; por su nivel, explicativo porque explica el efecto de la magnetita/zeolita en la reducción de plomo en aguas sintéticas; y por su diseño, experimental por la manipulación de variables independientes para ver respuesta en la variable dependiente.

En la tabla 3 se muestran los factores y niveles de experimentación; considerando 3 factores (dosis de adsorbentes, concentración inicial de Pb^{+2} y pH) con 3, 2 y 2 niveles respectivamente. Las condiciones constantes de trabajo, se detallan en la tabla 4.

Tabla 3

Factores y niveles de experimentación

Factor	Unidades	Notación	Niveles		
			Bajo	Medio	Alto
Dosis de magnetita / zeolita	p/p	X_1	1/3	1/2	1/1
Concentración inicial de Pb^{+2}	ppm	X_2	12	-	25
pH	-	X_3	3	-	5.6

Tabla 4

Condiciones constantes de trabajo

Tiempo de contacto (min)	Masa del adsorbente (Magnetita + zeolita) (g)	Altura de lecho fijo (cm)	Caudal (L/s)	Temperatura (°C)	Volumen de solución (L)
40	100	5.6	0.027	22.6	2

El número de experimentos se determinó con el diseño DOE factorial de múltiples niveles, el cual se muestra en la tabla 5, teniendo como resumen:

- Factores: 3
- Tratamientos: 12
- Bloques base: 1
- Réplicas: 1
- Total, de tratamientos: 12
- Total, de bloques: 1
- Número de niveles: 3, 2, 2

Tabla 5

Diseño experimental

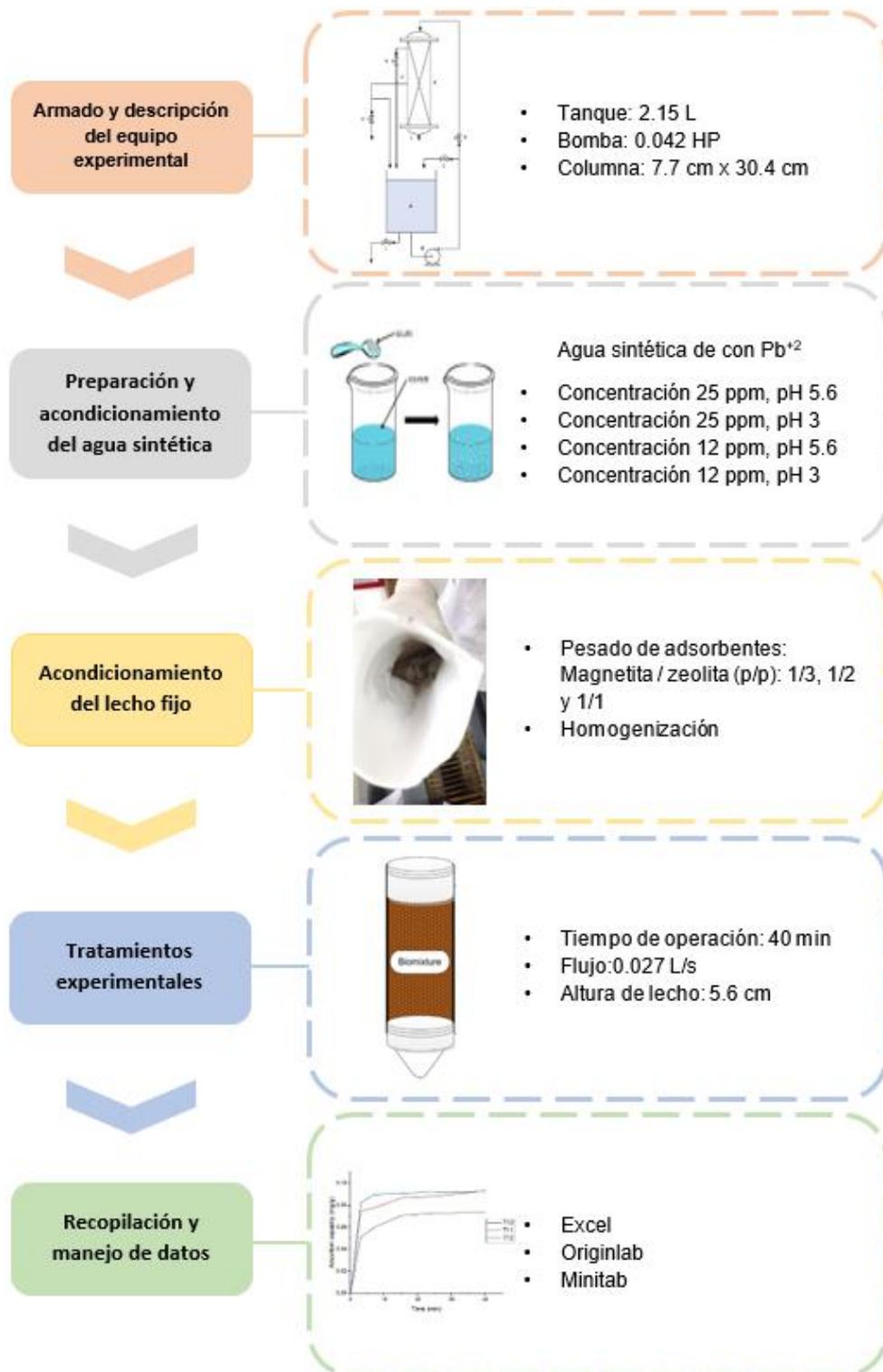
Tratamiento	Dosis magnetita / zeolita (p/p)	Concentración Pb⁺² inicial (ppm)	pH	% Remoción de Pb⁺²
T1	1/3	12	3	Y ₁
T2	1/3	12	5.6	Y ₂
T3	1/3	25	3	Y ₃
T4	1/3	25	5.6	Y ₄
T5	1/2	12	3	Y ₅
T6	1/2	12	5.6	Y ₆
T7	1/2	25	3	Y ₇
T8	1/2	25	5.6	Y ₈
T9	1/1	12	3	Y ₉
T10	1/1	12	5.6	Y ₁₀
T11	1/1	25	3	Y ₁₁
T12	1/1	25	5.6	Y ₁₂

4.2. Método de investigación

La presente investigación se desarrolló teniendo en cuenta 5 etapas según lo representado en la figura 3:

Figura 3

Etapas del proceso experimental

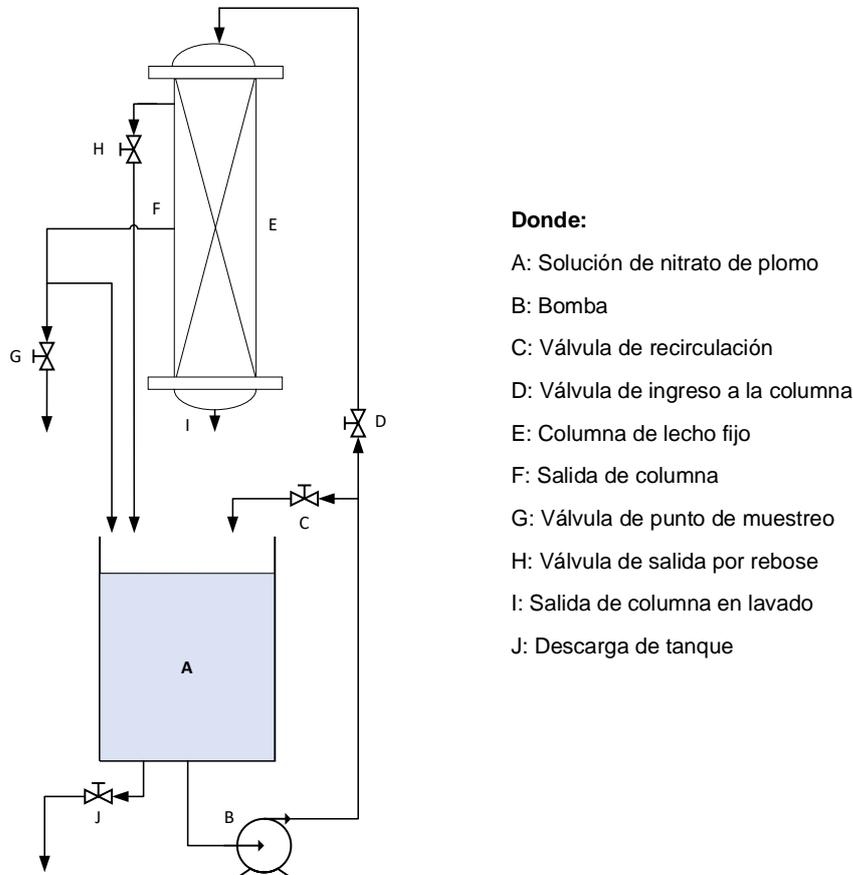


Etapa 1: Armado y descripción del equipo experimental

El diagrama de flujo del proceso de adsorción se aprecia en la figura 4.

Figura 4

Diagrama de flujo de proceso del sistema de adsorción



En el sistema de adsorción armado, la estructura de soporte es de metal con 3 niveles. En el primer nivel se ubicó una bomba de 0.042 HP; en el segundo nivel, un tanque de material acrílico con capacidad de 2.15 litros, con diámetro interno de 9.1 cm y 33 cm de altura; y en el tercer nivel, una columna de material acrílico con diámetro interno de 7.7 cm y altura de 30.4 cm.

La solución de nitrato de plomo es ubicada en el tanque el cual tiene dos salidas en la parte inferior (descarga y alimentación a la bomba) y 3 ingresos por la parte superior tanto del agua tratada, recirculada y por rebose de la columna; posterior a ello es bombeada hacia la columna la cual en la parte superior tiene el ingreso del agua; en la parte lateral, dos salidas (salida: muestreo y

recirculación, y rebose); y en la parte inferior, dos ductos de descarga para el lavado de columna.

Figura 5

Equipo del sistema de adsorción



Etapas 2: Preparación y acondicionamiento del agua sintética

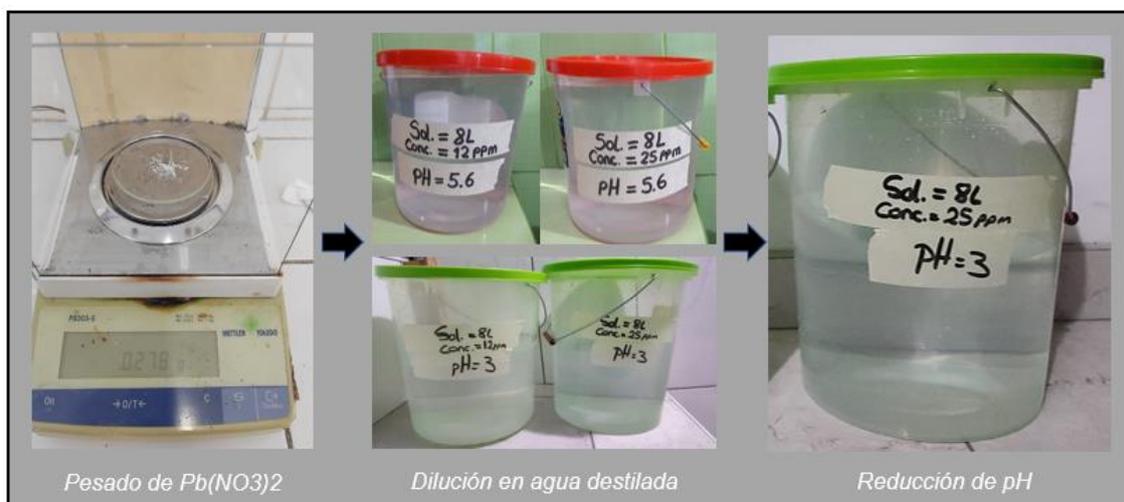
Se prepararon 4 soluciones de trabajo (ver figura 6) con las siguientes condiciones:

- *Concentración inicial de 25 ppm a pH 5.6.* - Se pesó 0.278 g de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y se diluyó en 8 L de agua destilada.
- *Concentración inicial de 25 ppm a pH 3.* - Se pesó 0.278 g de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y se diluyó en 8 L de agua destilada, luego se redujo el pH a 3 con ácido nítrico.
- *Concentración inicial de 12 ppm a pH 5.6.* Se pesó 0.139 g de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y se diluyó en 8 L de agua destilada.

- Concentración inicial de 12 ppm a pH 3. Se pesó 0.139 g de $Pb(NO_3)_2$ y se diluyó en 8 L de agua destilada, luego se redujo el pH a 3 con ácido nítrico.

Figura 6

Preparación y acondicionamiento del agua sintética



Etapas 3: Acondicionamiento del lecho fijo

Para el acondicionamiento del lecho fijo primero se realizó un mezclado de magnetita/zeolita a una dosis de 1/3, 1/2 y 1/1 en peso respectivamente (ver tabla 6) para así obtener el adsorbente (mezcla de magnetita y zeolita), luego se realizó la homogenización de tales muestras y colocación en una manga filtrante de $1 \mu m$, previamente cortada a la misma altura que la columna. Finalmente, por cada tratamiento se ubicó una manga respectiva y correctamente dentro de la columna.

Tabla 6

Dosis de adsorbentes

Dosis	Adsorbente		Total (g)
	Fe_3O_4 (g)	Zeolita (g)	
1/3	25.000	75.000	100.000
1/2	33.333	66.667	100.000
1/1	50.000	50.000	100.000

En la figura 7 se observa el proceso de acondicionamiento del lecho fijo.

Figura 7

Acondicionamiento del lecho fijo



Etapa 4: Tratamientos experimentales

Para el desarrollo de los tratamientos experimentales primero se estableció las condiciones constantes de trabajo, las cuales se aprecian en la tabla 4.

Luego se desarrollaron los tratamientos, según el diseño experimental descrito en la tabla 5.

Etapa 5: Recopilación y manejo de datos

Por cada tratamiento, se tomó muestras al inicio y al final del proceso, para ser enviadas al laboratorio ALAB Analytical Laboratory con la finalidad de analizar las concentraciones de Pb^{+2} .

El porcentaje de remoción se determinó mediante la ecuación (7).

$$\%Remoción = \frac{[Pb^{+2}]_{inicial} - [Pb^{+2}]_{final}}{[Pb^{+2}]_{inicial}} \times 100 \quad (7)$$

4.3. Población y muestra

Población:

La población corresponde a aguas sintéticas con contenido de plomo (II) preparadas en el laboratorio.

Muestra:

La muestra corresponde a un volumen de 2 litros de agua sintética con contenido de plomo (II), por tratamiento, preparadas en el laboratorio a una concentración de 12 mg/L y 25 mg/L con pH 3 y 5.6, respectivamente.

4.4. Lugar de estudio y período desarrollado

La presente investigación se realizó en los laboratorios de Química y de Operaciones Unitarias (LOPU) de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC, en un período de 4 meses.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Técnica

La técnica utilizada para la determinación de concentración de plomo fue la espectroscopia atómica.

Instrumentos de recolección de datos

Equipos:

- Balanza de precisión
- Bomba
- Perkin Elmer optima 4300 DV ICP-OES
- Termohigrómetro
- Medidor de pH

Insumos:

- Magnetita
- Zeolita
- Nitrato de plomo
- Ácido nítrico
- Agua destilada

Materiales:

- Estructura metálica
- Tubos de CPVC de ½"
- Válvulas de ½"
- Columna y tanque acrílicos
- Filtros manga de 1µm
- Tijera
- Probetas de 1L y 100ml
- Luna de reloj
- Vasos de precipitado
- Baguetas
- Baldes
- Mascarillas
- Guantes
- Botellas plásticas de 250ml para muestras
- Regla 30 cm
- Cinta masking tape
- Plumón indeleble

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Se utilizaron los softwares:

- EXCEL 2021 para procesar los datos de la experimentación.
- ORIGINLAB 2023 para realizar las gráficas respectivas.
- MINITAB 18 para gráficas de resultados inferenciales.

4.7. Aspectos éticos en investigación

El presente trabajo de investigación cumple con todos los requisitos y obligaciones exigidos, considerando la originalidad de los resultados presentados y la veracidad de los datos recopilados en los laboratorios en los cuales se contaron con instrumentos calibrados. Los autores garantizamos la validez y confiabilidad de los hallazgos reportados, los cuales han sido obtenidos con rigor científico y en total cumplimiento del código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

El desarrollo experimental se realizó con los parámetros señalados en las variables de operacionalización (ver tabla 2).

5.1.1. Determinación de porcentaje de remoción de plomo

Los resultados experimentales obtenidos según nuestro diseño experimental, se visualizan en la tabla 7.

Tabla 7

Diseño experimental con porcentaje de remoción obtenido

Tratamiento	Dosis magnetita / zeolita (p/p)	Concentración Pb ⁺² inicial (ppm)	pH	% Remoción de Pb ⁺²
T1	1/3	11.6430	3	39.71 %
T2	1/3	11.7180	5.6	85.63 %
T3	1/3	24.9270	3	39.03 %
T4	1/3	23.0290	5.6	79.83 %
T5	1/2	11.6430	3	39.96 %
T6	1/2	11.7180	5.6	87.21 %
T7	1/2	24.9270	3	32.00 %
T8	1/2	23.0290	5.6	82.14 %
T9	1/1	11.6430	3	31.44 %
T10	1/1	11.7180	5.6	93.28 %
T11	1/1	24.9270	3	39.36 %
T12	1/1	23.0290	5.6	82.66 %

De acuerdo con la tabla 5, se observa que las concentraciones iniciales para la solución de agua sintética con Pb^{+2} planteada fue con valores teóricos de 12 y 25 ppm, pero según los resultados (ver tabla 7), se observan que los valores reales están debajo de los valores teóricos esto es a causa de un error humano en la precisión y exactitud para la preparación y posterior dilución con agua hasta 8 L. Como consecuencia, para los tratamientos T1, T5 y T9 se tuvo la concentración inicial de Pb^{+2} de 11.6430 ppm; y 11.718 ppm para los tratamientos T2, T6 y T10. De similar manera para los tratamientos T3, T7 y T11 se tuvo la concentración inicial de Pb^{+2} de 24.9270 ppm; y 23.0290 ppm para los tratamientos T4, T8 y T12.

En la figura 8 se presenta el porcentaje de remoción de plomo en cada tratamiento, observándose que en el tratamiento T10 se obtuvo mayor porcentaje de remoción.

Como parte de la evaluación, para poder observar el porcentaje de remoción de plomo con respecto al tiempo y además evaluar como complemento la cinética e isoterma de adsorción, se tomaron valores de adsorción en los tiempos 3, 7, 15 y 25 minutos además del tiempo inicial y final, calculándose el porcentaje de remoción con la ecuación (7) y la capacidad de adsorción con la ecuación (2).

En la tabla 8 se observan los porcentajes de remoción, concentración en equilibrio y capacidad de adsorción para cada tiempo de cada tratamiento respectivamente.

En los tratamientos T1, T3, T6, T7, T9 y T11 se logró alcanzar la concentración en equilibrio; sin embargo, para los tratamientos T2, T4, T5, T8, T10 y T12 no se llegaron al equilibrio en el tiempo establecido de 40 minutos, por lo cual se realiza proyección con la data recopilada para así determinar la concentración en equilibrio.

Figura 8

Porcentaje de remoción de plomo en cada tratamiento

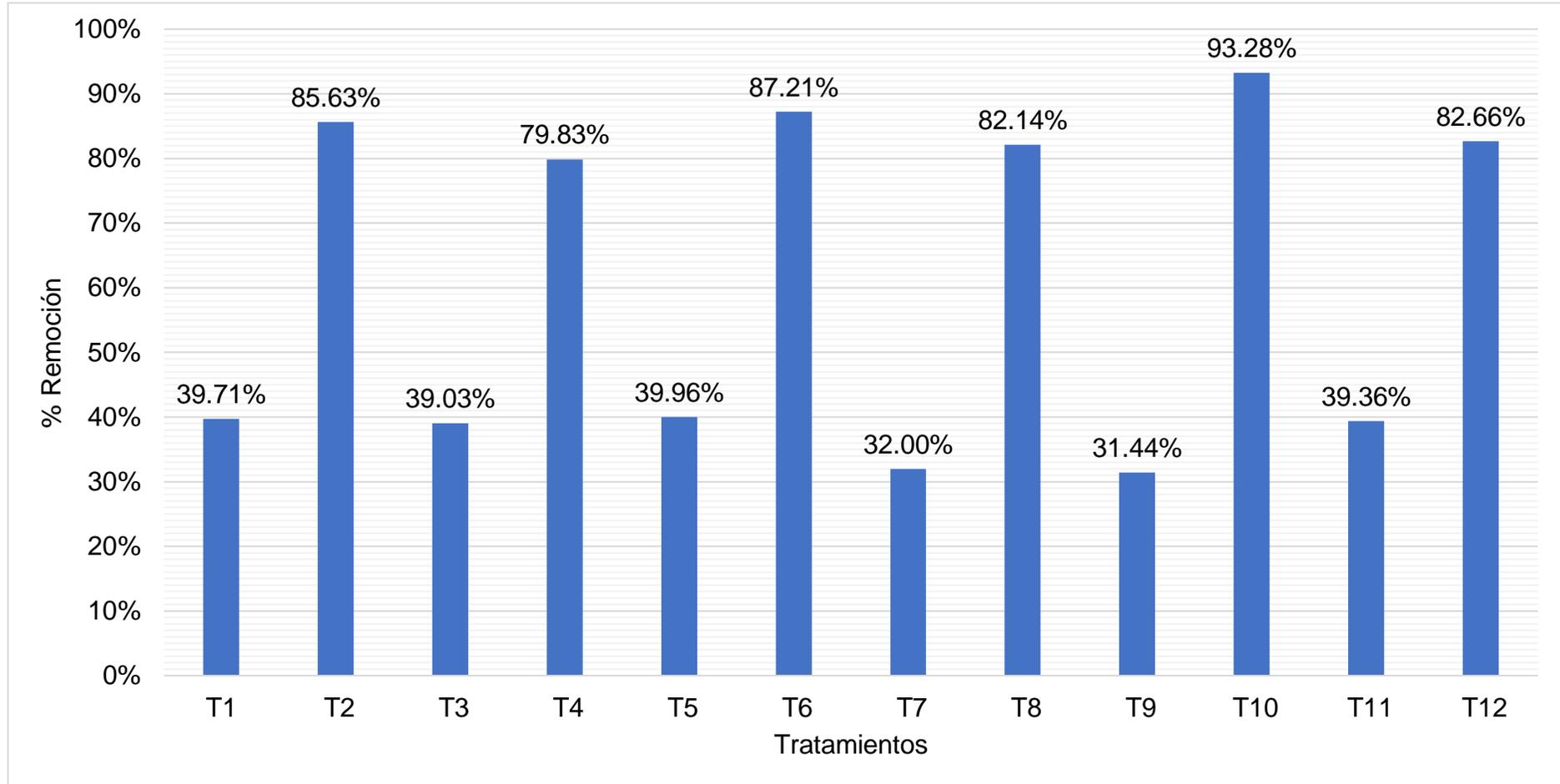


Tabla 8*Porcentaje de remoción y capacidad de adsorción en 0, 3, 7, 15, 25 y 40 min*

Trata- miento	Tiempo (min)	Ct: Conc. Pb ⁺² (mg/L)	% Remoción	Ce: Conc. en equilibrio (mg/L)	qt: Capacidad de adsorción (mg/g)	qe: Capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g)
T1	0	11.6430	0.00%	7.0190	0.0000	0.0925
	3	7.5277	35.35%		0.0823	
	7	7.1606	38.50%		0.0896	
	15	7.1032	38.99%		0.0908	
	25	7.0546	39.41%		0.0918	
	40	7.0190	39.71%		0.0925	
T2	0	11.7180	0.00%	0.0803	0.0000	0.2328
	3	5.3760	54.12%		0.1268	
	7	4.0826	65.16%		0.1527	
	15	2.8840	75.39%		0.1767	
	25	2.1379	81.76%		0.1916	
	40	1.6840	85.63%		0.2007	
T3	0	24.9270	0.00%	15.1970	0.0000	0.1946
	3	16.1361	35.27%		0.1758	
	7	15.5806	37.50%		0.1869	
	15	15.4497	38.02%		0.1895	
	25	15.2999	38.62%		0.1925	
	40	15.1970	39.03%		0.1946	
T4	0	23.0290	0.00%	1.4149	0.0000	0.4323
	3	10.1176	56.07%		0.2582	
	7	9.4393	59.01%		0.2718	
	15	6.9153	69.97%		0.3223	
	25	5.4029	76.54%		0.3525	
	40	4.6440	79.83%		0.3677	

Continuación de la tabla 8

T5	0	11.6430	0.00%	0.1338	0.0000	0.2302
	3	7.9251	31.93%		0.0744	
	7	7.7660	33.30%		0.0775	
	15	7.3219	37.11%		0.0864	
	25	7.2437	37.78%		0.0880	
	40	6.9900	39.96%		0.0931	
T6	0	11.7180	0.00%	1.4990	0.0000	0.2044
	3	4.7192	59.73%		0.1400	
	7	3.3505	71.41%		0.1674	
	15	2.2372	80.91%		0.1896	
	25	1.7444	85.11%		0.1995	
	40	1.4990	87.21%		0.2044	
T7	0	24.9270	0.00%	16.9510	0.0000	0.1595
	3	17.2609	30.75%		0.1533	
	7	17.2439	30.82%		0.1537	
	15	16.9639	31.95%		0.1593	
	25	16.9599	31.96%		0.1593	
	40	16.9510	32.00%		0.1595	
T8	0	23.0290	0.00%	1.5538	0.0000	0.4295
	3	10.0416	56.40%		0.2597	
	7	8.2317	64.26%		0.2959	
	15	6.1860	73.14%		0.3369	
	25	4.7696	79.29%		0.3652	
	40	4.1130	82.14%		0.3783	
T9	0	11.6430	0.00%	7.9830	0.0000	0.0732
	3	9.1035	21.81%		0.0508	
	7	8.6586	25.63%		0.0597	
	15	8.1221	30.24%		0.0704	
	25	8.0005	31.28%		0.0729	
	40	7.9830	31.44%		0.0732	

Continuación de la tabla 8

T10	0	11.7180	0.00%	0.0134	0.0000	0.2341
	3	4.9349	57.89%		0.1357	
	7	3.7431	68.06%		0.1595	
	15	2.2863	80.49%		0.1886	
	25	1.4361	87.74%		0.2056	
	40	0.7880	93.28%		0.2186	
T11	0	24.9270	0.00%	15.1150	0.0000	0.1962
	3	15.5354	37.68%		0.1878	
	7	15.4264	38.11%		0.1900	
	15	15.3248	38.52%		0.1920	
	25	15.2811	38.70%		0.1929	
	40	15.1150	39.36%		0.1962	
T12	0	23.0290	0.00%	3.1358	0.0000	0.3979
	3	11.2658	51.08%		0.2353	
	7	8.5810	62.74%		0.2890	
	15	6.9029	70.03%		0.3225	
	25	5.2972	77.00%		0.3546	
	40	3.9940	82.66%		0.3807	

En la figura 9 se observa el porcentaje de remoción con respecto al tiempo para los tratamientos con dosis de adsorbente 1/3 (T1, T2, T3 y T4); y de la misma manera, en las figuras 10 y 11 se observa el porcentaje de remoción con respecto al tiempo para los tratamientos con dosis de adsorbente 1/2 (T5, T6, T7 y T8) y 1/1 (T9, T10, T11 y T12), respectivamente.

Figura 9

Porcentaje de remoción de T1, T2, T3 y T4.

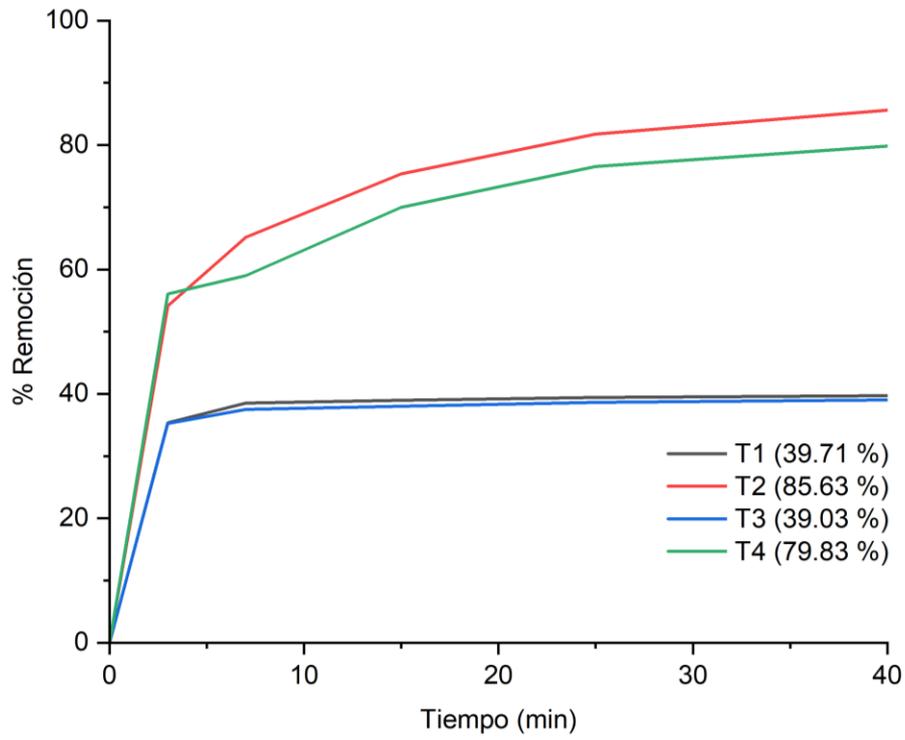


Figura 10

Porcentaje de remoción de T5, T6, T7 y T8.

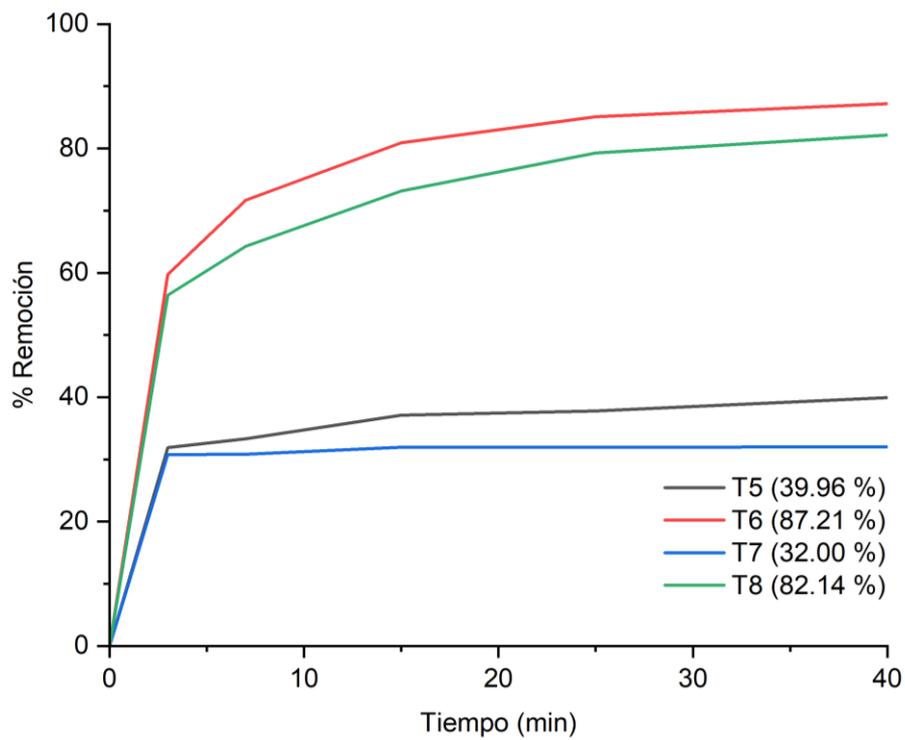
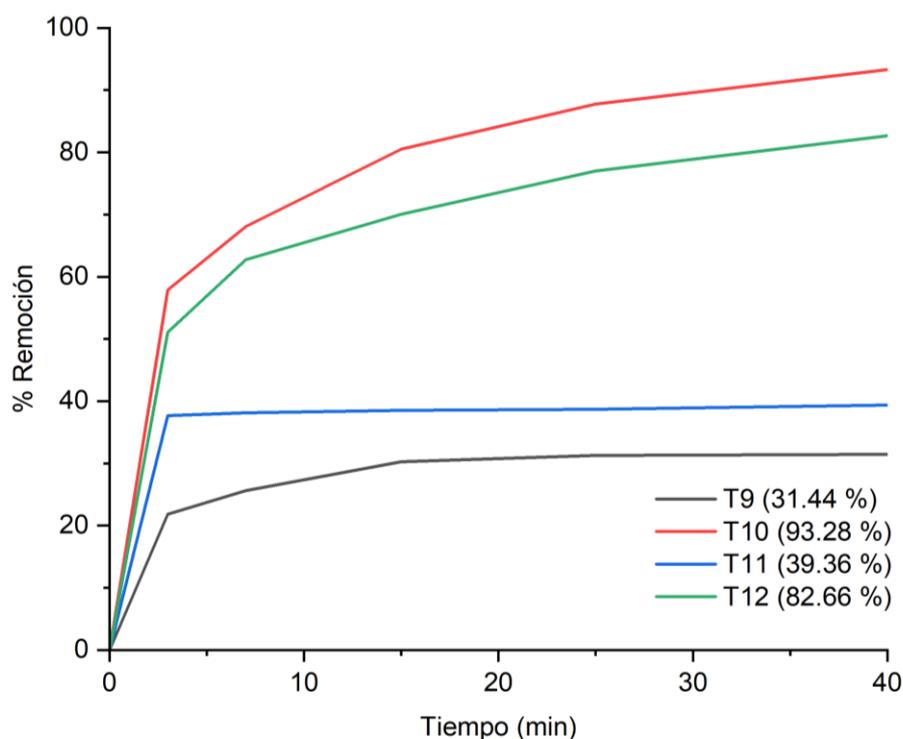


Figura 11

Porcentaje de remoción de T9, T10, T11 y T12.



5.1.2. Efecto del tiempo de contacto sobre la adsorción de Pb^{+2}

Con la capacidad de adsorción calculada y mostrada en tabla 8, en las figuras 12, 13 y 14 se muestra el efecto del tiempo de contacto sobre la capacidad de adsorción de la mezcla de magnetita / zeolita para el ion plomo (II).

En la figura 12, se muestra el efecto del tiempo de contacto sobre la capacidad de adsorción para los tratamientos con dosis de adsorbente 1/3 (T1, T2, T3 y T4) donde se observa que la capacidad de adsorción aumenta rápidamente en los primeros 3 minutos, luego aumenta lentamente, alcanzando una capacidad máxima de adsorción de 0.37 mg/g en los primeros 40 minutos.

Así mismo, en la figura 13, se observa que la capacidad de adsorción de magnetita / zeolita para el ion plomo (II) aumenta rápidamente en los primeros 3 minutos, luego aumenta lentamente, alcanzando una capacidad máxima de adsorción de 0.38 mg/g en los primeros 40 minutos; para los tratamientos con dosis de adsorbente 1/2 (T5, T6, T7 y T8).

Figura 12

Capacidad de adsorción de T1, T2, T3 y T4.

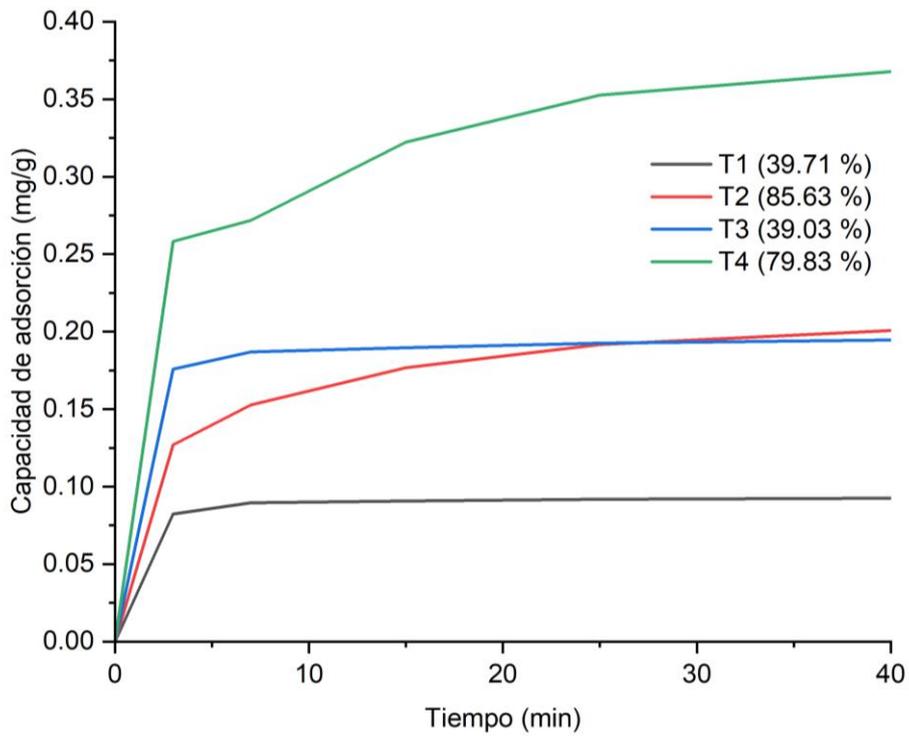
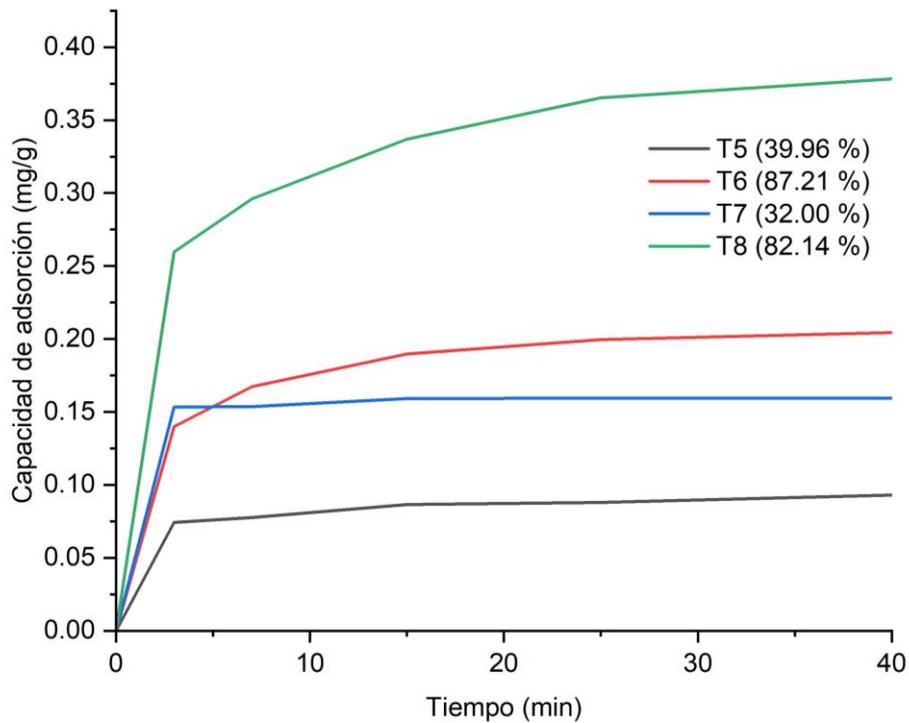


Figura 13

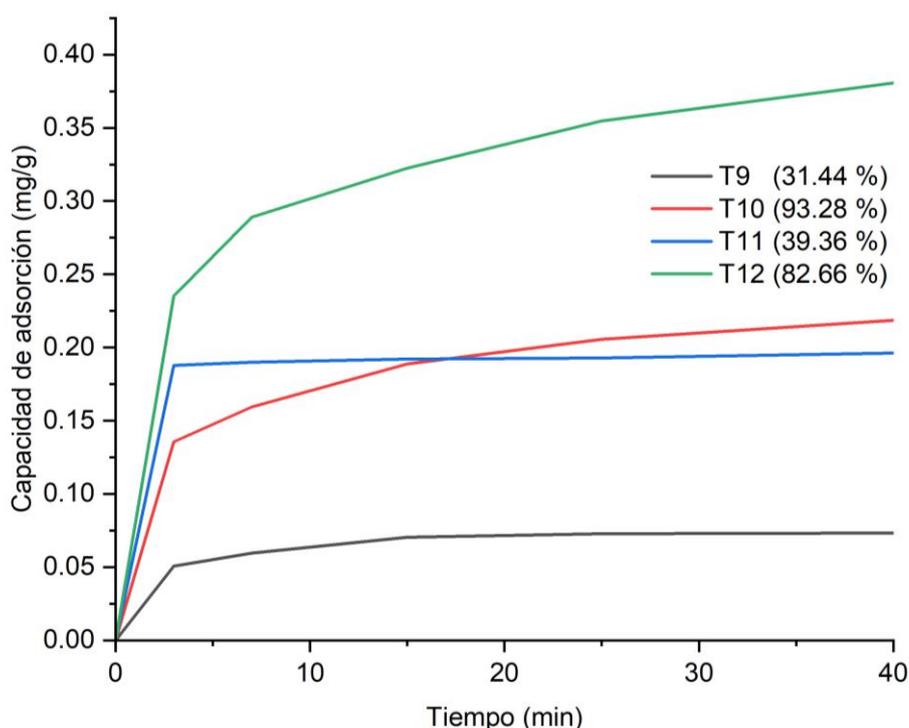
Capacidad de adsorción de T5, T6, T7 y T8.



Finalmente, en la figura 14, para los tratamientos con dosis de adsorbente 1/1 (T9, T10, T11 y T12), se visualiza que la capacidad de adsorción de la mezcla de magnetita / zeolita de igual manera aumenta rápidamente en los 3 primeros minutos, luego lentamente, alcanzando una capacidad máxima de adsorción de 0.38 mg/g en los primeros 40 minutos para el ion plomo (II).

Figura 14

Capacidad de adsorción de T9, T10, T11 y T12.



5.1.3. Estudio de la cinética de la remoción

A) Modelo cinético de pseudo primer orden

Para el modelo cinético de pseudo primer orden, se realizó la representación gráfica del modelo linealizado según la ecuación (3), es decir $\ln(q_e - q_t)$ versus tiempo para cada tratamiento, obteniendo rectas con pendientes igual a $-k$ con las cuales podemos calcular las constantes de adsorción.

En las figuras 15, 16 y 17 se presenta el modelo lineal de plomo (II) para los tratamientos T1, T2, T3 y T4; T5, T6, T7 y T8; y T9, T10, T11 y T12, respectivamente.

Figura 15

Cinética de pseudo primer orden para Pb^{+2} de T1, T2, T3 y T4.

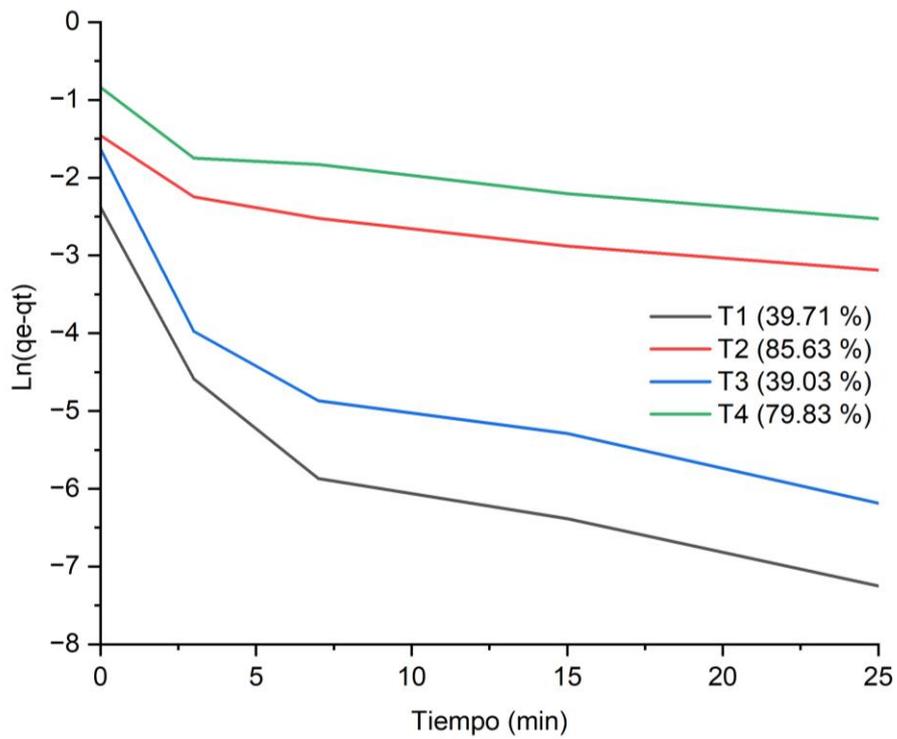


Figura 16

Cinética de pseudo primer orden para Pb^{+2} de T5, T6, T7 y T8.

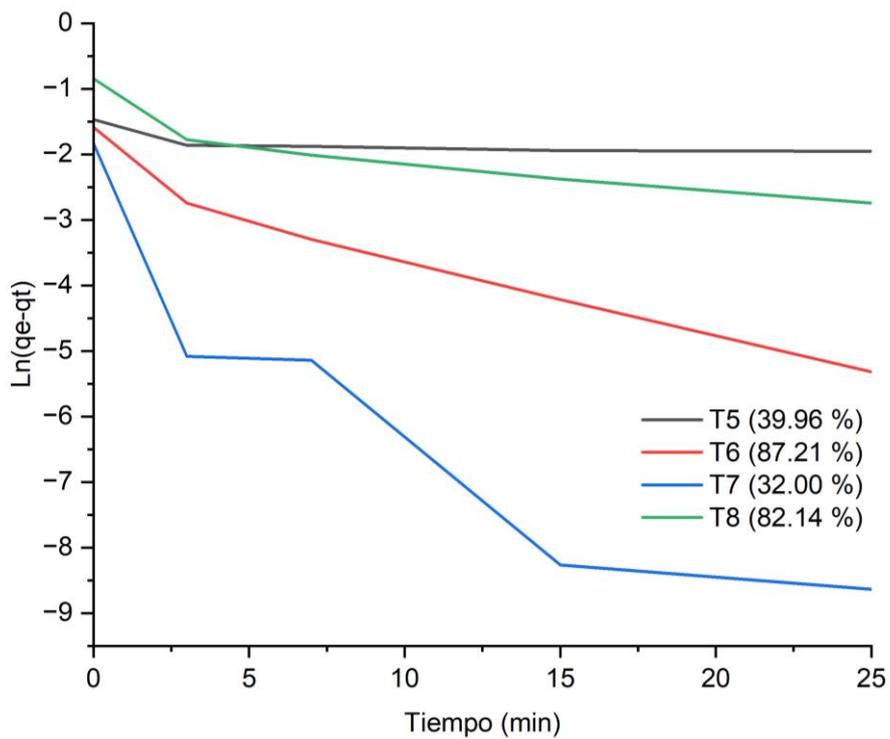
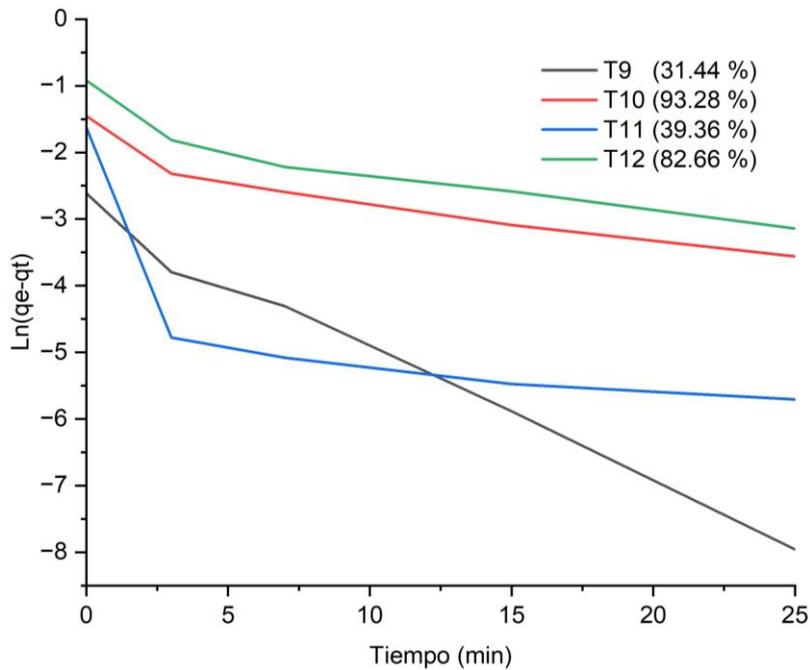


Figura 17

Cinética de pseudo primer orden para Pb^{+2} de T9, T10, T11 y T12.



B) Modelo cinético de pseudo segundo orden

Las figuras 18, 19 y 20 presentan el modelo lineal de plomo (II) según la ecuación (4) en la cinética de pseudo segundo orden para todos los tratamientos.

Figura 18

Cinética de pseudo segundo orden para Pb^{+2} de T1, T2, T3 y T4.

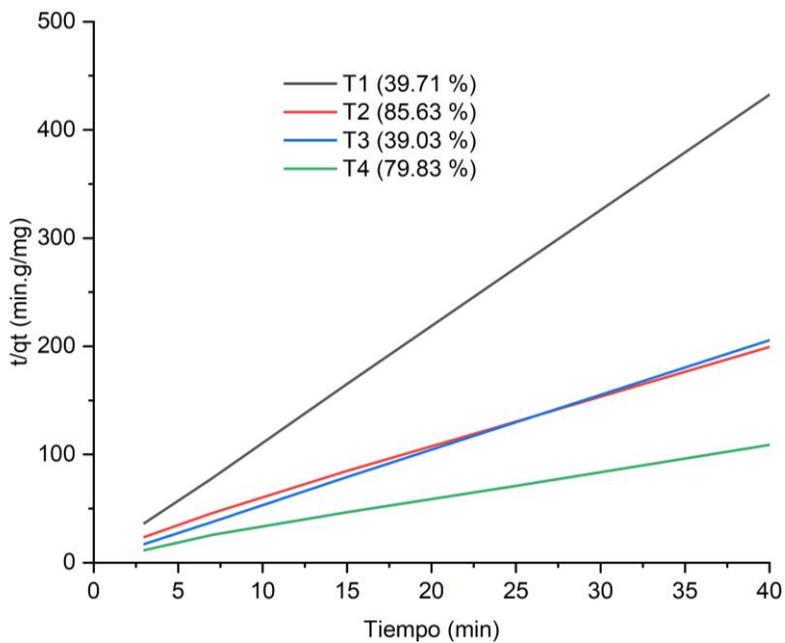


Figura 19

Cinética de pseudo segundo orden para Pb^{+2} de T5, T6, T7 y T8.

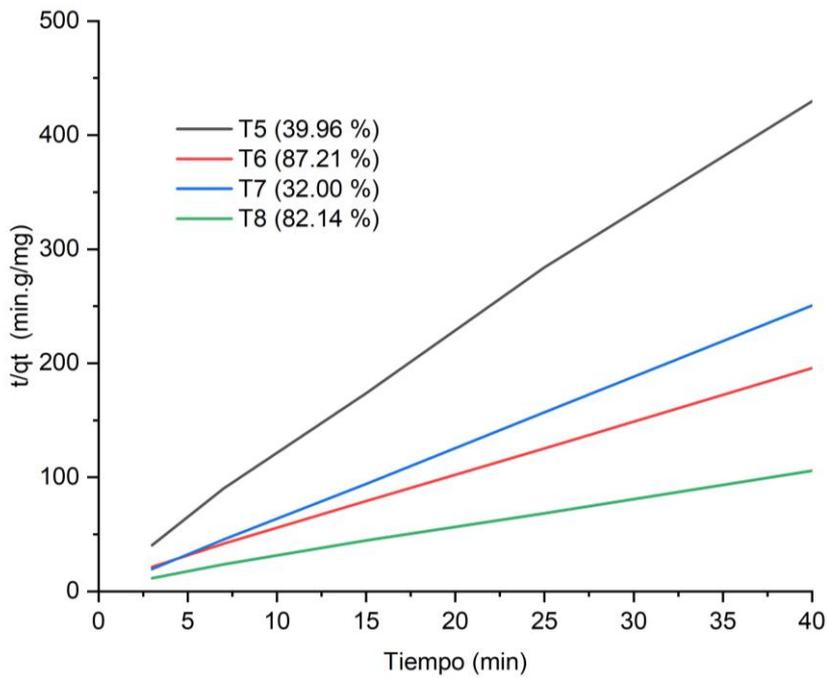
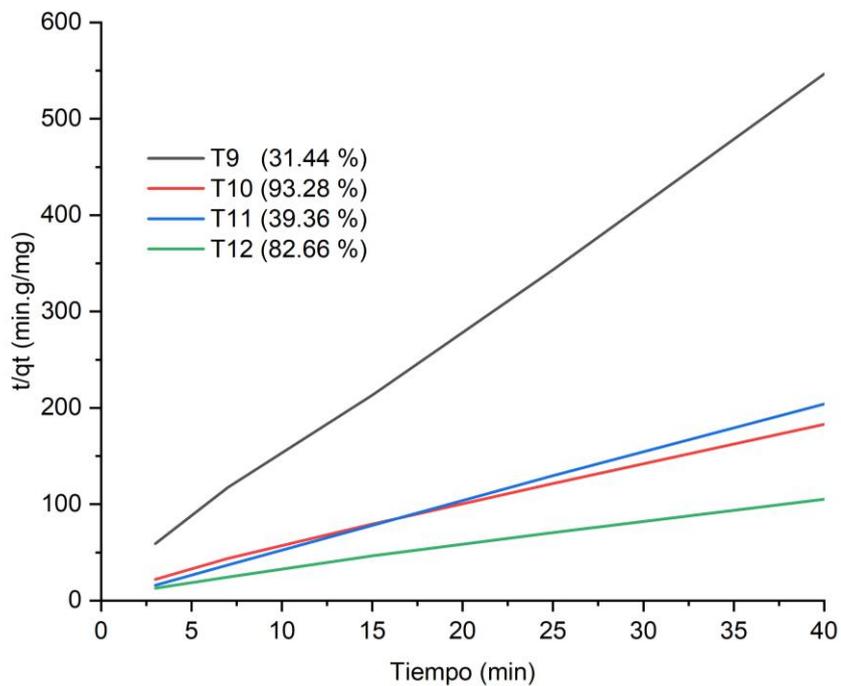


Figura 20

Cinética de pseudo segundo orden para Pb^{+2} de T9, T10, T11 y T12.



De las figuras se obtuvo rectas con pendientes igual a k según la ecuación (4) y se calculó las constantes de velocidad de pseudo segundo orden.

En la tabla 9, se observan los valores de los parámetros cinéticos de pseudo primer y segundo orden de adsorción de Pb²⁺.

Tabla 9

Parámetros cinéticos de adsorción de Pb²⁺

Modelo cinético	Parámetros	Pb ²⁺											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Pseudo primer orden	q _e (mg/g)	0.0260	0.1554	0.0545	0.2807	0.1860	0.1271	0.0367	0.2698	0.0565	0.1556	0.0349	0.2553
	k ₁ (1/min)	0.1645	0.0598	0.1481	0.0560	0.0138	0.1369	0.2487	0.0641	0.2038	0.0743	0.1177	0.0771
	R ²	0.7709	0.8259	0.7449	0.7902	0.4839	0.9489	0.8202	0.8095	0.9902	0.8800	0.5108	0.8678
Pseudo segundo orden	q _e (mg/g)	0.0933	0.2122	0.1962	0.3874	0.0952	0.2133	0.1604	0.3967	0.0765	0.2322	0.1968	0.4022
	k ₂ (g/mg*min)	29.1858	1.8487	12.5457	1.0656	7.5632	2.6573	34.0922	1.1735	8.3458	1.4821	18.4104	0.8757
	R ²	1.0000	0.9993	1.0000	0.9982	0.9989	0.9999	1.0000	0.9992	0.9996	0.9986	0.9998	0.9979

En los resultados de la tabla 9 y gráficas 18, 19 y 20 se presentan valores de $R^2 > 0.99$, este valor sugiere que la adsorción de plomo (II) con la mezcla de magnetita y zeolita se ajusta a una cinética de pseudo segundo orden para todos los tratamientos experimentales. Para el tratamiento T10 con mayor porcentaje de remoción, su constante de velocidad es: $k_2 = 1.4821 \text{ g/mg*min}$.

5.1.4. Estudio de isotermas de adsorción

A partir de la concentración en equilibrio y de la capacidad de adsorción se evaluaron las isotermas de Langmuir y Freundlich con las ecuaciones (5) y (6) respectivamente.

En la tabla 10 se expresan los valores obtenidos de la evaluación aplicada a ambas isotermas, para el tratamiento con menor (T9) y mayor (T10) porcentaje de remoción, agrupando los tratamientos experimentales de igual condición (dosis de adsorbente y pH).

Tabla 10

Isotermas de Langmuir y Freundlich

Tratamiento	Isoterma de Langmuir		Isoterma de Freundlich	
	1/qe (g/mg)	1/Ce (L/mg)	Ln(qe)	ln(Ce)
T9 y T11	13.6612	0.1253	-2.6146	2.0773
(Dosis 1/1 y pH 3)	5.0958	0.0662	-1.6284	2.7157
T10 y T12	4.2718	74.6269	-1.4520	-4.3125
(Dosis 1/1 y pH 5.6)	2.5134	0.3189	-0.9216	1.1429

En la figura 21 se observa la isoterma de Langmuir y en la figura 22 se observa la isoterma de Freundlich para ambos los tratamientos.

Figura 21

Isoterma de Langmuir aplicada para la adsorción de Pb^{+2} .

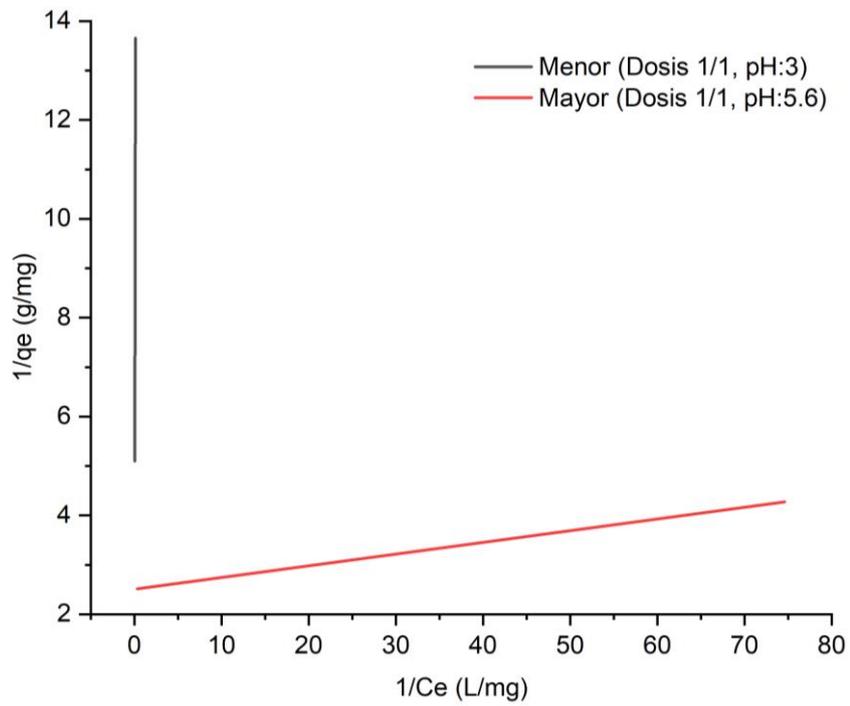
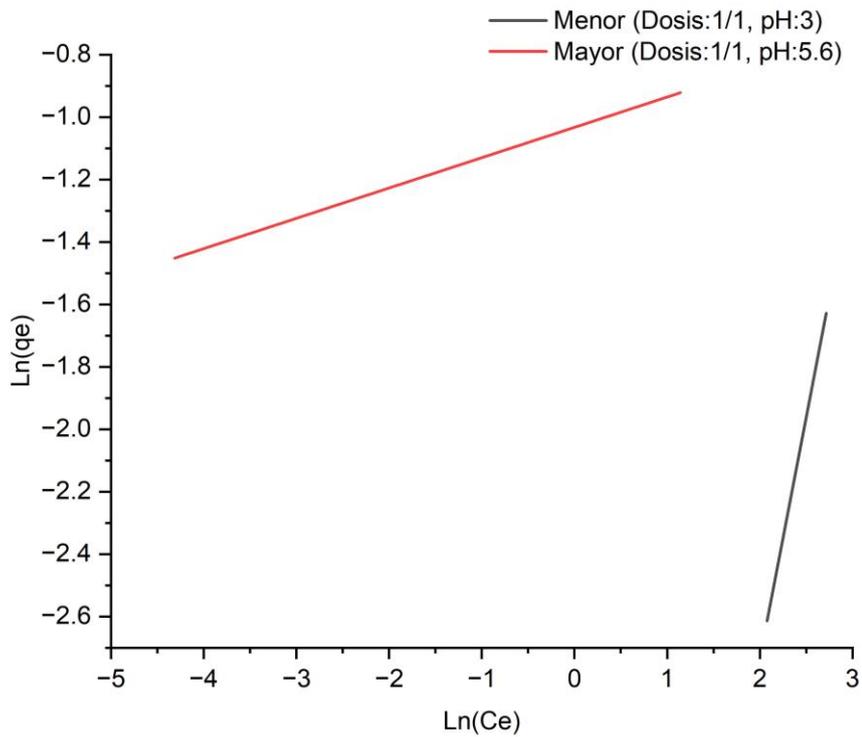


Figura 22

Isoterma de Freundlich aplicada para la adsorción de Pb^{+2} .



En la tabla 11 se puede observar el resumen de los parámetros obtenidos a partir de las figuras 21 y 22, y según las ecuaciones (5) y (6) para las isothermas de Langmuir y Freundlich.

Tabla 11

Parámetros de Langmuir y Freundlich

Tratamiento	Parámetros Langmuir		Parámetros Freundlich	
	b (L/mg)	q _{máx} (mg/g)	k _f (mg/g(L/mg) ^{-1/n})	n
T9 y T11 (Dosis 1/1 y pH 3)	-0.0310	-0.2226	0.0030	0.6473
T10 y T12 (Dosis 1/1 y pH 5.6)	105.9112	0.3991	0.3560	10.2849

Para la isoterma de Langmuir los valores de b indican la afinidad del adsorbente magnetita / zeolita con el ion plomo (II); entonces según la tabla 11, existen tratamientos con mayor afinidad (T10 y T12); y así mismo, tratamientos con los cuales se presenta menor afinidad (T5 y T7), es decir, las condiciones de trabajo de dichos tratamientos no aportan a la afinidad de nuestro adsorbente.

Para la isoterma de Freundlich los valores de n para algunos tratamientos son >1, lo que indica una adsorción favorable; y para otros n<1, lo cual indica que son tratamientos con condiciones de trabajo no favorables para el proceso.

5.2. Resultados inferenciales

La figura 23 muestra que el factor más significativo para la remoción de plomo (II) es el pH, seguido de la concentración inicial y finalmente la dosis de adsorbente. Sin embargo, individualmente, cada factor en algún nivel influyó en la remoción de plomo (II).

En la figura 24 se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, donde indica que el factor con más efecto en el proceso es el pH. Además, en la figura 25 se muestra la dispersión de variables respecto al

porcentaje de remoción, en la cual también se aprecia que el factor más significativo es el pH.

Figura 23

Efectos principales para el porcentaje de remoción de Pb⁺²

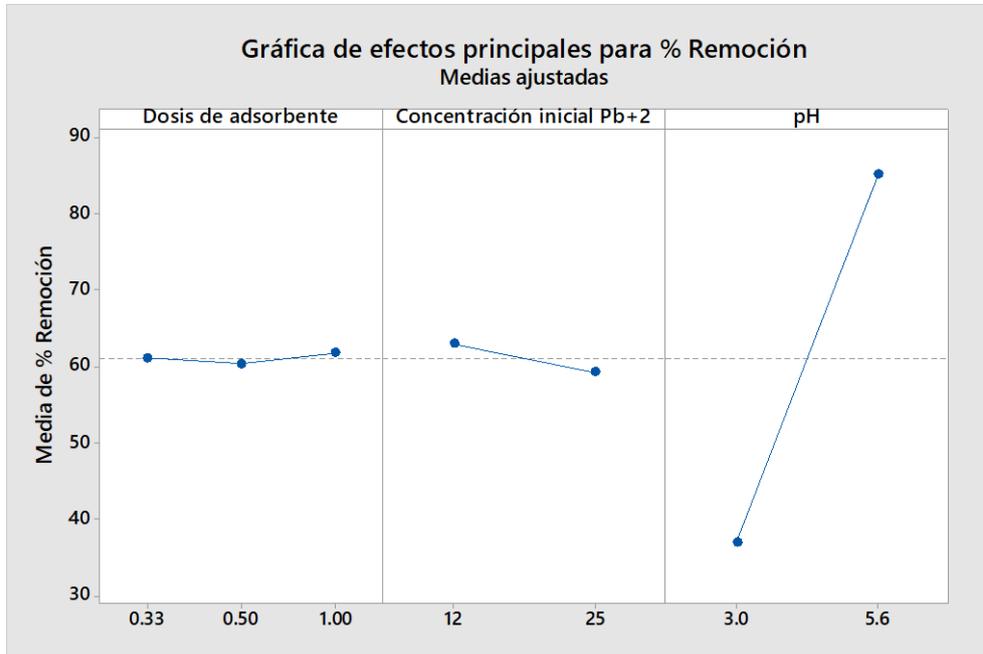


Figura 24

Diagrama de Pareto

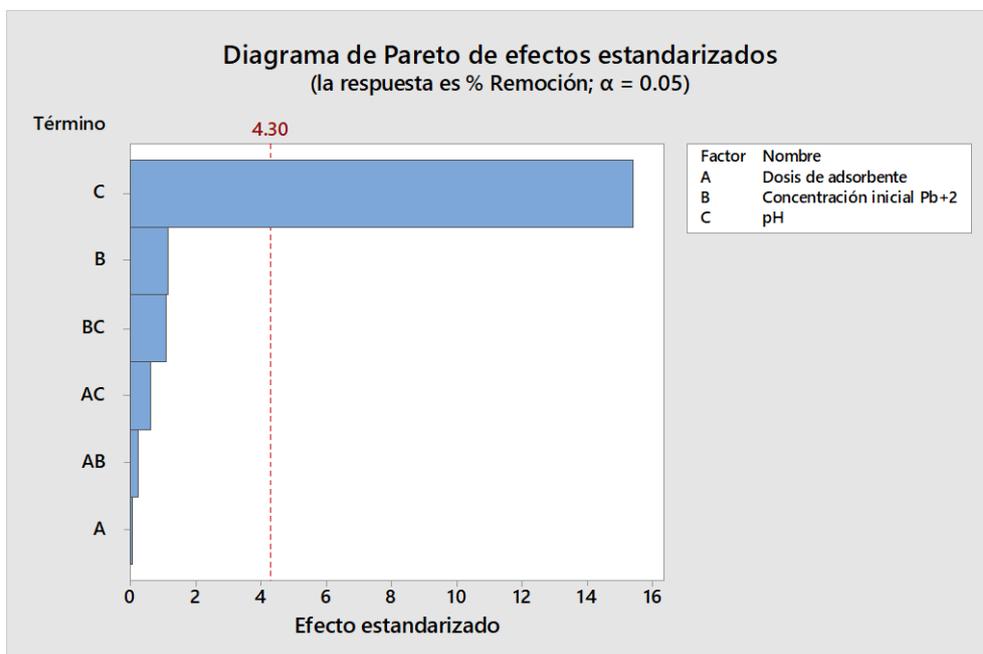
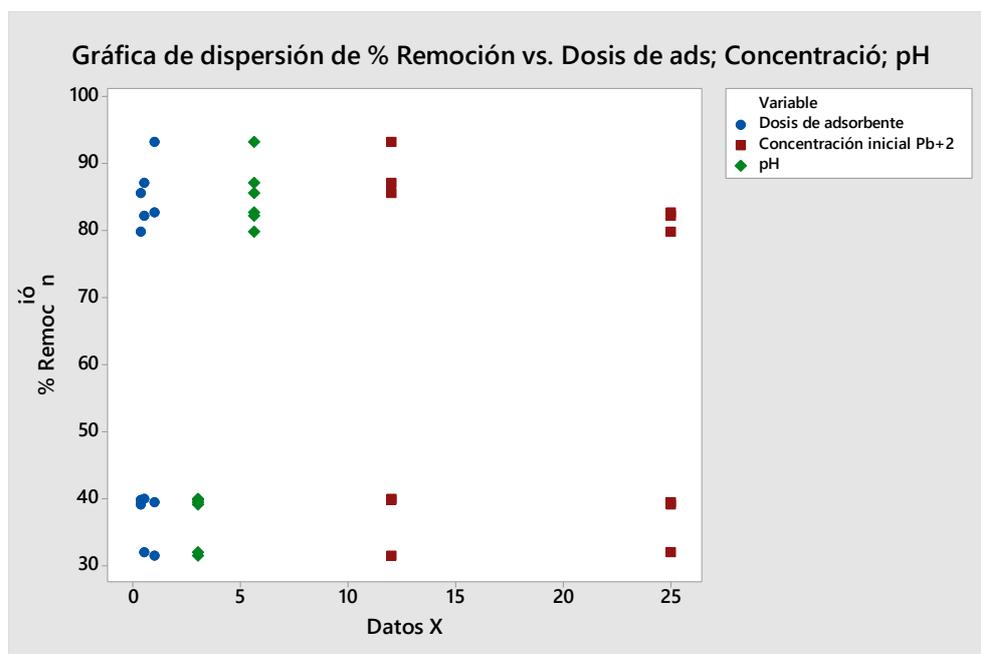


Figura 25

Gráfica de dispersión de variables



Finalmente, en la tabla 12 se puede visualizar que el valor p del factor pH < nivel de significancia (0.05), por lo tanto, es estadísticamente significativo.

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) para % remoción de plomo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosis de adsorbente	2	3.69	1.85	0.06	0.941
Concentración inicial Pb ⁺²	1	41.11	41.11	1.40	0.358
pH	1	6972.13	6972.13	237.85	0.004
Dosis de adsorbente	2	13.66	6.83	0.23	0.811
*Concentración inicial Pb ⁺²					
Dosis de adsorbente*pH	2	42.77	21.38	0.73	0.578
Concentración inicial Pb ⁺² *pH	1	35.95	35.95	1.23	0.383
Error	2	58.63	29.31		
Total	11	7167.93			

Valor $p \leq \alpha$: La asociación es estadísticamente significativa.

Valor $p > \alpha$: La asociación no es estadísticamente significativa

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

Hipótesis general

“La remoción de plomo en aguas sintéticas será mayor al 90 % mediante adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita”

Durante la experimentación, la remoción de plomo en aguas sintéticas fue de 93.28 % mediante adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita, lo cual indica que se cumplió la hipótesis planteada que se esperaba usando una columna de lecho fijo.

Hipótesis específicas

“La dosis de magnetita/zeolita para la remoción de plomo será 1/2 p/p”

La dosis de magnetita/zeolita para alcanzar la máxima adsorción fue de 1/1 lo cual no está de acuerdo a lo planteado en la hipótesis que era de 1/2, una de las razones podría ser que nuestro sistema es mediante una columna de adsorción con recirculación, y en los antecedentes utilizaron la técnica de prueba de jarras. Sin embargo, se cumplió el objetivo de conseguir una remoción mayor al 90 %.

“Las condiciones de trabajo para la remoción de plomo en aguas sintéticas serán a un pH de 5.6 y concentración inicial de 12 ppm”

La condición de trabajo para alcanzar la máxima remoción de plomo en aguas sintéticas fue a un pH de 5.6 y concentración inicial de plomo de 11.71 ppm. La remoción de plomo en aguas sintéticas fue mayor al 90 % en un tiempo de tratamiento de 40 minutos, cumpliéndose así, la hipótesis planteada.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

En la investigación [11], mediante un experimento por lotes, para la eliminación de plomo (II) del agua, emplean un adsorbente de zeolita natural / Fe_3O_4 en el cual se optimizaron los parámetros de operación como la masa del adsorbente, pH y tiempo; la adsorción máxima de plomo (II) en 1 L de solución

de 150 mg/L fue 95.15 %. En nuestra investigación se obtuvo una máxima remoción de 93.28 % con una mezcla de magnetita y zeolita como adsorbente de plomo en 2 L de solución de 11.718 mg/L; siendo un resultado más favorable ya que se podría dar más tiempo de tratamiento por ende mayor porcentaje.

En la investigación [11] se trabajó con relaciones de 1/3, 1/2 y 1/1 p/p del adsorbente Fe_3O_4 / zeolita natural para la eliminación de plomo (II) del agua, obteniéndose como resultados que la fracción de 1/2 p/p de Fe_3O_4 en el adsorbente, tiene mejor capacidad de adsorción. En nuestra investigación el mayor porcentaje de remoción se obtiene con una mezcla de magnetita y zeolita de 1/1 p/p, en comparación con 1/3 y 1/2 p/p.

En la investigación [10], para el proceso de adsorción de Pb^{2+} utilizan un adsorbente de Nano- Fe_3O_4 y trabajan con cinco variables como condiciones de trabajo (pH, dosis de adsorbente, concentración inicial de iones Pb^{+2} , tiempo de contacto y temperatura), obteniendo una remoción máxima de 98.4 % a las condiciones de pH 6, dosis de adsorbente de 10 mg, concentración inicial de Pb^{2+} a 110 ppm en 40 minutos y a una temperatura de 40 °C. Concluyen que la influencia que tuvieron las variables de pH y temperatura es significativa. En nuestra investigación se logró una máxima remoción del 93.28 % a las condiciones de pH 5.6, dosis de adsorbente 1/1 p/p (100 g), concentración inicial de iones Pb^{+2} de 11.718 ppm en 40 minutos y a una temperatura ambiente; lo cual indica que se obtuvo un resultado de remoción menor al obtenido en la investigación de Singh y Bhateria porque manipulan la temperatura y en nuestra investigación se mantuvo constante; si bien tiene influencia en el proceso, al manipular mayor cantidad de variables implica un mayor costo de fabricación del sistema. Así mismo, según nuestro análisis de Anova y Pareto, la variable de pH tiene mayor influencia en el sistema del proceso de remoción de plomo en aguas contaminadas.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

La presente investigación se basa en los principios éticos establecidos, considerando sus principales normas éticas como el desarrollo íntegro de acuerdo a la problemática. Los autores se responsabilizan de la información

presentada en cumplimiento con el Código de Ética de Investigación de la Universidad Nacional del Callao, según lo establecido en la Resolución del Consejo Universitario N° 260-2019-CU.

VII. CONCLUSIONES

- En esta investigación, se determinó que el mayor % de remoción de plomo (II) en una solución de aguas sintéticas fue 93.28 % y el menor fue 31.44 % mediante el proceso de adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita.
- Los resultados obtenidos muestran que la dosis de magnetita/zeolita de 1/1 (50 % p/p) consiguió la máxima remoción de Pb^{+2} en aguas sintéticas, siendo un adsorbente prometedor para separar y recuperar iones de metales pesados del agua contaminada por su afinidad con los sitios activos del adsorbente.
- Se concluye que las condiciones de trabajo para obtener el mayor % de remoción de 93.28 %, en aguas sintéticas fueron: dosis de adsorbente 1/1 p/p (50 % p/p), concentración inicial de Pb^{+2} de 11.71 ppm y pH 5.6; así mismo, para el menor % de remoción fueron: dosis de adsorbente 1/1 p/p (50 % p/p), concentración inicial de Pb^{+2} de 11.643 ppm y pH 3.0. Demostrando durante la investigación que la influencia del factor pH en el % de remoción es muy significativa.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Evaluar tratamientos con mayores tiempos de trabajo para llegar a mayores % de remoción de iones metálicos.
2. Analizar la remoción de otros metales pesados (mercurio, cromo, cobre y/o cadmio) presentes en las aguas residuales industriales, utilizando este sistema de adsorción.
3. Evaluar otros parámetros de operación como temperatura y pH en la columna de lecho fijo para medir el % de remoción y capacidad de adsorción de los iones metálicos. Y así mismo, considerar una manga filtrante menor a $1\mu\text{m}$.
4. Experimentar con otras dosis del adsorbente (p/p) y determinar la influencia en el % de remoción.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OBESO, Bonnie a Engels VEGA. *Remoción de plomo mediante el uso de polvo de Cáscara de Musa Paradisiaca (Banano), a nivel de laboratorio* [online]. B.M., 2021. Tesis de pregrado. Universidad César Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/75133>
- [2] OMS, Organización Mundial de la Salud. *Directriz de la OMS para el tratamiento clínico de la exposición al plomo*. 2022. ISBN 9789240045880.
- [3] MEDINA, Juan, Wilfredo SEJJE, Cáceres ANYOSA, Luis CARRASCO, Pablo DIAZ, Jorge LOPEZ, Juan GRADOS a Jacob ASTOCONDOR. Intensification of Lead, Copper and Antimony Removal Using Brown Algae Adsorption Coupled to Hydrodynamic Cavitation. *Sustainability (Switzerland)* [online]. 2023, **15**(4). ISSN 20711050. DOI:10.3390/su15043453
- [4] WORCH, Eckhard. *Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling*, Berlin, Boston: De Gruyter [online]. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110240238>
- [5] ALI, Imran a V. K. GUPTA. Advances in water treatment by adsorption technology. *Nature Protocols* [online]. 2007, **1**(6), 2661–2667. ISSN 17542189. DOI: 10.1038/nprot.2006.370
- [6] DOTTO, Guilherme L. a Gordon MCKAY. Current scenario and challenges in adsorption for water treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [online]. 2020, **8**(4). ISSN 22133437. DOI: 10.1016/j.jece.2020.103988
- [7] AQUAE FUNDACIÓN. *Datos interesantes de la distribución del agua en la Tierra* [online]. 2021 [vid. 2023-07-07].
<https://www.fundacionaquae.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/>

- [8] WORLD HEALTH ORGANIZATION. The Public Health Impact of Chemicals: Knowns and Unknowns [online]. 2016, OECD Environmental Outlook. DOI: 10.1787/9789264122246-en
- [9] TEJADA-TOVAR, Candelaria, Ángel VILLABONA-ORTIZ a Luz GARCÉS-JARABA. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas* [online]. 2015, **18**(34), 109–123. ISSN 0123-7799. DOI: 10.22430/22565337.209
- [10] SINGH, Rimmy a Rachna BHATERIA. Optimization and experimental design of the Pb²⁺adsorption process on a nano-Fe₃O₄-based adsorbent using the response surface methodology. *ACS Omega* [online]. 2020, **5**(43). ISSN 24701343. DOI: 10.1021/acsomega.0c04284
- [11] PAMBUDI, T., E. WAHYUNI a M. MUDASIR. Recoverable Adsorbent of Natural Zeolite / Fe₃O₄ for Removal of Pb (II) in Water. *Journal of Materials and Environmental Sciences* [online]. 2020, **11**(1), 69–78. <https://www.researchgate.net/publication/341179935>
- [12] BARRERA MOLINA, Chistian Jonathan a Randy Ariel GRANDA RIVERA. *Evaluación de la remoción de plomo y mercurio de aguas sintéticas utilizando zeolitas hidrotermales sintetizadas en las pruebas de laboratorio y propuesta de diseño de sistemas de adsorción industriales* [online]. B.M., 2020. Tesis de pregrado. Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21387>
- [13] RÍOS, Carlos Alberto, Craig WILLIAMS a Oscar CASTELLANOS. Un comparativo sobre el uso de materiales similares a la zeolita en la eliminación de metales pesados y amonio de las aguas residuales. *Prospectiva* [online]. 2020, **18**(2). DOI: <http://doi.org/10.15665/rp.v18i2.2187>
- [14] KHADEMOLHOSSEINI, Mohamad Reza, Iman MOBASHERPOUR a Davoud GHAHREMANI. Lead adsorption by nano-hydroxyapatite granules in a fixed-bed column. *Chemistry and Chemical Technology*

- [online]. 2018, **12**(3), 372–378. ISSN 19964196.
DOI:10.23939/chcht12.03.372
- [15] CHINO, Anais. *Nanohíbridos magnéticos para la nanorremediación de agua real contaminada con plomo* [online]. Lima, 2022. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/19186>
- [16] VALDIVIA, Marcelo. Cinética y mecanismos de adsorción de plomo (II) usando zeolita Gis-NaP obtenida a partir de residuos de ladrillo. *Revista Politécnica* [online]. 2022, **50**(2), 63–70. ISSN 24778990.
DOI: 10.33333/rp.vol50n2.07
- [17] CARBONEL, Dalia. Adsorción de Cadmio, Cobre y Plomo en Bentonita, Caolín y Zeolita Naturales y Modificadas: Una Revisión de los Parámetros de Operación, Isotermas y Cinética. *Ingeniería* [online]. 2018, **23**(3). ISSN 0121-750X. DOI: 10.14483/23448393.13418
- [18] CHAVEZ QUISPE, Alejandro. *Determinación de niveles de plomo en pobladores adultos del Asentamiento Humano „Virgen de Guadalupe”, distrito Mi Perú, de la Provincia Constitucional del Callao*. Lima, Perú, 2018. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- [19] QUINTO PARI, Iván a Elizabeth ZANABRIA PARI. *Nivel de concentración de plomo (Pb) y arsénico (As) en el río Cachi y su relación con la salud en los pobladores del distrito de Izcuhaca*. Huancavelica, Perú, 2021. Gestión ambiental y/o sanitaria. Universidad Nacional de Huancavelica.
- [20] ACHARYA, Jyotikusum, J. N. SAHU, B. K. SAHOO, C. R. MOHANTY a B. C. MEIKAP. Removal of chromium (VI) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood activated with zinc chloride. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2009, **150**(1), 25–39. ISSN 13858947. DOI: 10.1016/j.cej.2008.11.035
- [21] SAHU, J. N., Jyotikusum ACHARYA a B. C. MEIKAP. Optimization of production conditions for activated carbons from Tamarind wood by

- zinc chloride using response surface methodology. *Bioresource Technology* [online]. 2010, **101**(6), 1974–1982. ISSN 09608524. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.10.031
- [22] TREYBAL, Robert E. *Operaciones De Transferencia*. Segunda ed. México: McGraw-Hill, 1980. ISBN 9686046348.
- [23] ÁLVAREZ TORRELLAS, Silvia. *Eliminación de contaminantes emergentes presentes en aguas mediante adsorción en lecho fijo* [online]. B.M., 2014. Tesis de grado. Universidad Complutense de Madrid.
<https://dialnet.unirioja.es/tesis/unesco/3303>
- [24] CASTELLAR, Grey C., Beatriz M. CARDOZO, Jhon F. SUAREZ a Javier E. VEGA. Adsorción por lote y en una columna de lecho fijo del colorante B39 sobre carbón activado granular. *Prospectiva* [online]. 2013, **11**(1), 66–75. ISSN 16928261. DOI: 10.15665/rp.v11i1.28
- [25] CRINI, Grégorio, Eric LICHTFOUSE, Lee D. WILSON a Nadia MORIN-CRINI. *Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment* [online]. B.M.: Springer Verlag. 1. březen 2019. ISSN 16103661. DOI: 10.1007/s10311-018-0786-8
- [26] NOVAL LARA, Virginia E., Cristian OCHOA PUENTES a José G. CARRIAZO BAÑOS. Magnetita (Fe₃O₄): Una estructura inorgánica con múltiples aplicaciones en catálisis heterogénea. *Revista colombiana de química*. 2017, **46**, 42–59.
- [27] SALAZAR HERNANDEZ, María Irma a Dora Esthela MARTINEZ ESPARZA. *Síntesis y funcionalización de nanomagnetita y su efecto en la cinética de polimerización de estireno*. Nuevo León, México, 2018. Centro de Investigación en materiales avanzados.
- [28] FRANCO, Anderson Guarnizo. *Síntesis y propiedades catalíticas de nanopartículas de paladio depositadas sobre nanopartículas de magnetita* [online]. 2016. Dostupné z: www.tdx.cat
- [29] GALLEGO SÁNCHEZ, Eva María. *Síntesis de zeolitas con propiedades texturales y de confinamiento adecuadas para su uso*

como catalizadores en reacciones químicas de interés industrial. Valencia, Perú, 2019. Instituto Universitario Mixto de Tecnología Química.

- [30] FIERRO MÁRQUEZ, Vivian Stefany a Paula Nicholl RAMÍREZ GAITÁN. *Evaluación del proceso de remoción de hierro por medio de la zeolita Clinoptilolita en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Bogotá, Colombia, 2016. Fundación Universidad de América.
- [31] UMA, Sushmita BANERJEE a Yogesh C. SHARMA. Equilibrium and kinetic studies for removal of malachite green from aqueous solution by a low cost activated carbon. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* [online]. 2013, **19**(4), 1099–1105. ISSN 1226086X. DOI: 10.1016/j.jiec.2012.11.030
- [32] CASTELLAR ORTEGA, Grey C a Antonio A GARCÍA. *Removal of Pb²⁺ in aqueous solution on powdered activated carbon: Batch Study*. 2011.
- [33] LANGMUIR, I. *The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum*. 1918.
- [34] FREUNDLICH, H. *Journal of Physical Chemistry*. 1906.
- [35] CORTÉS CORREA, Farid. *Adsorción de agua en materiales compuestos y en zeolita*. Colombia, 2009. Universidad Nacional de Colombia Medellin.
- [36] RAMOS GUIVAR, Juan Adrián. *Híbridos de nanopartículas magnéticas funcionalizadas con diferentes agentes para la adsorción y remoción de metales pesados del agua* [online]. B.M., 2018. Tesis de grado. Universidad Nacional del Callao.

https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4082%0Ahttp://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4147/Diaz_rc.pdf;jsessionid=CD5A7FF3022F1A5526948369A600356D?sequence=1

- [37] VERA-CABEZAS, Luisa Mayra, Daniel BERMEJO-CAMPOS, María Fernanda UGUÑA-ROSAS, Nancy GARCÍA-ALVEAR, Maritza FLORES-ZAMORA a Diana BRAZALES. Modelado en columna de lecho fijo para la bioadsorción de Cd²⁺ y Pb²⁺ con cáscara de cacao. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [online]. 2018, **34**(4), 611–620. ISSN 01884999. DOI: 10.20937/RICA.2018.34.04.05
- [38] CÓRDOVA-RODRÍGUEZ, Valdivina, Leonel R. GARCELL-PUYÁNS a Inocente RODRÍGUEZ-IZNAGA. Remoción del cromo de residuales alcalinos con zeolita natural, en una columna de adsorción de lecho fijo. *Tecnología Química* [online]. 2018, **38**(2), 234–251. ISSN 2224-6185. DOI: 10.1590/2224-6185.2018.2.
- [39] LARIOS - MEOÑO, J. Fernando, Carlos GONZÁLEZ TARANCO a Yennyfer MORALES OLIVARES. *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*. 2015.
- [40] BARAHONA DOS SANTOS, María. *Calidad y tratabilidad de aguas provenientes de ríos de llanura y embalses eutrofizados, caso de estudio: Carrizal - Chone La Esperanza*. Sangolquí, 2010. Escuela politécnica del ejército.
- [41] CÁRDENAS SALAZAR, Susan Johana a Julio Cesar ORTEGA REVILLA. „Modelamiento y simulación de una columna de adsorción e lecho fijo para la remoción de Cr(VI) de soluciones acuosas utilizando aserrín como adsorbente.” [online]. B.M., 2015. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4003>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Remoción de plomo en aguas sintéticas por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita.						
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Metodología a utilizar
¿Cuál es el porcentaje de remoción de plomo en aguas sintéticas por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita?	Determinar el porcentaje de remoción de plomo en aguas sintéticas por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita.	La remoción de plomo en aguas sintéticas será mayor al 90 % por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita.	Porcentaje de remoción de plomo por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita.	Concentración inicial de plomo	ppm	Instrumental
				Concentración final de plomo	ppm	Instrumental
				% Remoción	%	Cálculos
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Metodología a utilizar
¿Cuál será la dosis de magnetita-zeolita en la remoción de plomo en aguas sintéticas? ¿Cuáles serán las condiciones de trabajo para la remoción de plomo en aguas sintéticas?	Determinar la dosis de magnetita-zeolita en la remoción de plomo en aguas sintéticas. Determinar las condiciones de trabajo para la remoción de plomo en aguas sintéticas.	La dosis de magnetita-zeolita para la remoción de plomo será 1/2 p/p. Las condiciones de trabajo para la remoción de plomo en aguas sintéticas serán un pH de 5.6 y concentración inicial de plomo de 12 ppm.	Dosis de magnetita / zeolita Condiciones de trabajo	Relación en peso	1/1, 1/2, 1/3 p/p	Balanza
				pH	3 y 5,6	Potenciómetro
				Concentración inicial	12 y 25 ppm	Instrumental

Anexo 2. Instrumentos utilizados en la investigación

Equipos:

Balanza de precisión



Bomba



Perkin Elmer optima 4300 DV ICP-OES



Termohigrómetro



pHmetro



Insumos:

Magnetita



Zeolita



Nitrato de plomo



Ácido nítrico



Agua destilada



Materiales:

Filtros manga de 1µm



Materiales de vidrio



Baldes



Botellas plásticas de 250ml



Útiles



Mascarillas y guantes



Tubos, estructura, tanque y columna



Anexo 3. Fotos de la experimentación

Armado de equipo



Preparación de agua sintética



Anexo 4. Informe de análisis de laboratorio externo

Informe de ensayo N°: IE-23-24587

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096	 Registro N° LE - 096	
INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24587			
N° Id.: 0000092752			
I. DATOS DEL SERVICIO			
1.-RAZON SOCIAL	: CORPORACION M & H PERU S.A.C.		
2.-DIRECCIÓN	: CALLAS CAOBAS MZA. K LOTE. 15 URB. LOS PORTALES LIMA - LIMA - PUENTE PIEDRA		
3.-PROYECTO	: PROYECTO PLOMO REDUCIDO		
4.-PROCEDENCIA	: LOPU		
5.-SOLICITANTE	: CORPORACION M & H PERU S.A.C.		
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 000005995-2023-0001		
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA		
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA		
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-11-10		
II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO			
1.-PRODUCTO	: Agua de Proceso		
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 8		
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-11-04		
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-11-04 al 2023-11-10		
 Liz Y. Quispe Quispe Jefe de Laboratorio CIP N° 211662			
			
Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.			
SEDE PRINCIPAL Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao Telf.: (+01) 713 0756 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572	SEDE ZARUMILLA Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao Telf.: (+01) 713 0636 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572	SEDE AREQUIPA COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa Telf.: (+054) 616 843 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572	SEDE PIURA Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura Telf.: (+073) 542 335 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24587

N° Id.: 0000092752

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales ICPOES ⁽¹⁾	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 / VALIDATED (Applied out of reach), 2018.	Dissolved Metals: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, SiO ₂ , Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn, Hg, Validated: U, Bi. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

⁽²⁾ El Ensayo indicado no ha sido acreditado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 2 de 6

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24587

N° Id.: 0000092752

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-77506	M-23-77507	M-23-77508	M-23-77509
CÓDIGO DEL CLIENTE:	1:15.6 300	1:15.6 3040	1:25.6 3040	1:35.6 3040
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
SUB PRODUCTO:	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	03-11-2023 15:56	03-11-2023 16:30	03-11-2023 17:45	03-11-2023 18:50

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Metales Totales ICPOES							
Aluminio (*)	mg/L	0,005	0,020	0,063	0,137	0,111	0,179
Antimonio (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Arsénico (*)	mg/L	0,002	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Bario (*)	mg/L	0,0002	0,0010	0,0057	0,0180	0,0174	0,0149
Berilio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bismuto (*)	mg/L	0,009	0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Boro (*)	mg/L	0,002	0,008	0,302	0,304	0,295	0,300
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Calcio (*)	mg/L	0,002	0,006	0,611	3,154	1,932	1,531
Cerio (*)	mg/L	0,02	0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Cobalto (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Cobre (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,0296	0,1342	0,1439	0,0873
Cromo (*)	mg/L	0,0002	0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Estaño (*)	mg/L	0,001	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Estroncio (*)	mg/L	0,00004	0,00010	0,01020	0,02890	0,01600	0,01480
Fosforo (*)	mg/L	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,004	0,116	0,139	0,130	0,136
Litio (*)	mg/L	0,0003	0,0009	<0,0009	<0,0009	<0,0009	<0,0009
Magnesio (*)	mg/L	0,005	0,020	0,185	0,566	0,451	0,381
Manganeso (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0215	0,2899	0,2085	0,1439
Mercurio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Molibdeno (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Níquel (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Plata (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Plomo (*)	mg/L	0,002	0,006	23,029	3,994	4,113	4,644
Potasio (*)	mg/L	0,04	0,10	0,38	1,28	1,60	2,09
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA
L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, *<= Menor que el L.D.M.

Pág. 3 de 6

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24587

N° Id.: 000092752

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-77506	M-23-77507	M-23-77508	M-23-77509			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	1:15.6 300	1:15.6 3040	1:25.6 3040	1:35.6 3040			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso			
SUB PRODUCTO:	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	03-11-2023 15:56	03-11-2023 16:30	03-11-2023 17:45	03-11-2023 18:50			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Sodio (*)	mg/L	0,004	0,010	2,669	3,417	3,012	3,151
Silice (*)	mg/L	0,001	0,004	0,457	1,414	1,088	1,317
Talio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Titanio (*)	mg/L	0,0007	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Uranio (*)	mg/L	0,005	0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Vanadio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	0,0116	0,0265	0,0005
Azufre (**)	mg/L	0,006	0,017	-	-	-	-

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *c* = Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, *c* = Menor que el L.D.M.

** : No ensayado

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24587

N° Id.: 0000092752

ITEM	5	6	7	8
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-77510	M-23-77511	M-23-77512	M-23-77513
CÓDIGO DEL CLIENTE:	1:15.6150	1:15.6 1540	1:25.6 1540	1:35.6 1540
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
SUB PRODUCTO:	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	03-11-2023 19:11	03-11-2023 19:51	03-11-2023 21:02	03-11-2023 22:35

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Metales Totales ICPOES							
Aluminio (*)	mg/L	0,005	0,020	0,065	0,122	0,439	0,213
Antimonio (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Arsénico (*)	mg/L	0,002	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Bario (*)	mg/L	0,0002	0,0010	0,0056	0,0109	0,0118	0,0111
Berilio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bismuto (*)	mg/L	0,009	0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Boro (*)	mg/L	0,002	0,008	0,295	0,301	0,298	0,291
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Calcio (*)	mg/L	0,002	0,006	0,759	1,355	1,930	1,099
Cerio (*)	mg/L	0,02	0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Cobalto (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Cobre (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,0239	0,0461	0,0386	0,0369
Cromo (*)	mg/L	0,0002	0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Estaño (*)	mg/L	0,001	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Estroncio (*)	mg/L	0,00004	0,00010	0,01180	0,01340	0,01720	0,01280
Fósforo (*)	mg/L	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,004	0,120	0,132	0,187	0,157
Litio (*)	mg/L	0,0003	0,0009	<0,0009	<0,0009	<0,0009	<0,0009
Magnesio (*)	mg/L	0,005	0,020	0,188	0,398	0,509	0,283
Manganeso (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0219	0,1871	0,1312	0,0755
Mercurio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Molibdeno (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Níquel (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Plata (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Plomo (*)	mg/L	0,002	0,006	11,718	0,788	1,499	1,684
Potasio (*)	mg/L	0,04	0,10	0,66	1,14	3,19	1,51
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, *<=" Menor que el L.D.M.

Pág. 5 de 6

📍 **SEDE PRINCIPAL**
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 **SEDE ZARUMILLA**
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 **SEDE AREQUIPA**
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 **SEDE PIURA**
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24587

N° Id.: 0000092752

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-77510	M-23-77511	M-23-77512	M-23-77513			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	1:15.6150	1:15.6 1540	1:25.6 1540	1:35.6 1540			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso			
SUB PRODUCTO:	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	03-11-2023 19:11	03-11-2023 19:51	03-11-2023 21:02	03-11-2023 22:35			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Sodio (*)	mg/L	0,004	0,010	2,773	2,938	3,778	2,992
Silice (*)	mg/L	0,001	0,004	0,519	1,095	2,071	1,182
Talio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Titanio (*)	mg/L	0,0007	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Uranio (*)	mg/L	0,005	0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Vanadio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Azufre (**)	mg/L	0,006	0,017	-	-	-	-

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, *<= Menor que el L.D.M.

** : No ensayado

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 6 de 6

Informe de ensayo N°: IE-23-24590



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24590

N° Id.: 0000092755

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: CORPORACION M & H PERU S.A.C.
2.-DIRECCIÓN	: CALLAS CAOBAS MZA. K LOTE. 15 URB. LOS PORTALES LIMA - LIMA - PUENTE PIEDRA
3.-PROYECTO	: PROYECTO PLOMO REDUCIDO
4.-PROCEDENCIA	: LOPU
5.-SOLICITANTE	: CORPORACION M & H PERU S.A.C.
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 000005995-2023-0001
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-11-11

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua de Proceso
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 8
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-11-04
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-11-04 al 2023-11-11

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

Pag. 1 de 6

📍 **SEDE PRINCIPAL**
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 **SEDE ZARUMILLA**
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 **SEDE AREQUIPA**
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 **SEDE PIURA**
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24590

N° Id.: 0000092755

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales ICPOES ¹⁾	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 / VALIDATED (Applied out of reach), 2018.	Dissolved Metals: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, SiO ₂ , Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn, Hg. Validated: U, Bi. Determination of Metals and Trace Elements In Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

¹⁾EPA^{*} : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

Pág. 2 de 6

SEDE PRINCIPAL
 Av. Guardia Chalaca N° 1877,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0756
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
 Bellavista - Callao
 Telf.: (+01) 713 0636
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
 Arequipa
 Telf.: (+054) 616 843
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
 Castilla - Piura
 Telf.: (+073) 542 335
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24590

N° Id.: 000092755

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-77545	M-23-77546	M-23-77547	M-23-77548
CÓDIGO DEL CLIENTE:	1:1 3300	1:13 3040	1:2 330 40	1:3330 40
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
SUB PRODUCTO:	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada

INSTRUCTIVO DE MUESTREO: NO APLICA

FECHA y HORA DE MUESTREO : 04-11-2023 14:35 04-11-2023 15:15 04-11-2023 16:30 04-11-2023 17:30

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Metales Totales ICPOES							
Aluminio (*)	mg/L	0,005	0,020	0,050	0,610	0,437	0,661
Antimonio (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Arsénico (*)	mg/L	0,002	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Bario (*)	mg/L	0,0002	0,0010	0,0088	0,0576	0,0310	0,0491
Berilio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bismuto (*)	mg/L	0,009	0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Boro (*)	mg/L	0,002	0,008	0,322	0,320	0,294	0,298
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Calcio (*)	mg/L	0,002	0,006	0,475	4,712	2,602	3,735
Cerio (*)	mg/L	0,02	0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Cobalto (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Cobre (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	0,2758	0,1172	0,1286
Cromo (*)	mg/L	0,0002	0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Estaño (*)	mg/L	0,001	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Estroncio (*)	mg/L	0,0004	0,0010	0,01420	0,03530	0,02340	0,02910
Fosforo (*)	mg/L	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,004	0,028	0,169	0,100	0,133
Litio (*)	mg/L	0,0003	0,0009	0,0580	0,0620	0,0611	0,0607
Magnesio (*)	mg/L	0,005	0,020	0,088	1,007	0,455	0,652
Manganeso (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0070	1,6397	0,5168	0,7915
Mercurio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Molibdeno (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Níquel (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Plata (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Plomo (*)	mg/L	0,002	0,006	24,927	15,114	16,951	15,197
Potasio (*)	mg/L	0,04	0,10	0,12	2,00	1,42	2,00
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

pag.3 de 6

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24590

N° Id.: 0000092755

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-77545	M-23-77546	M-23-77547	M-23-77548			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	1:1 3300	1:13 3040	1:2 330 40	1:3330 40			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso			
SUB PRODUCTO:	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	04-11-2023 14:35	04-11-2023 15:15	04-11-2023 16:30	04-11-2023 17:30			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Sodio (*)	mg/L	0,004	0,010	5,721	7,222	6,305	7,354
Silice (*)	mg/L	0,001	0,004	0,854	2,890	1,784	2,369
Talio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Titanio (*)	mg/L	0,0007	0,0020	0,1198	0,1207	0,1202	0,1204
Uranio (*)	mg/L	0,005	0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Vanadio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	0,4274	0,1340	0,1911

Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 4 de 6

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24590

N° Id.: 0000092755

ITEM	6	6	7	8
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-77549	M-23-77550	M-23-77551	M-23-77552
CÓDIGO DEL CLIENTE:	1:13150	1:1 31540	1:2 31540	1:3 31540
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
SUB PRODUCTO:	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada

INSTRUCTIVO DE MUESTREO: NO APLICA

FECHA y HORA DE MUESTREO :

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Metales Totales ICPOES							
Aluminio (*)	mg/L	0,005	0,020	0,047	0,331	0,415	0,500
Antimonio (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Arsénico (*)	mg/L	0,002	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Bario (*)	mg/L	0,0002	0,0010	0,0091	0,0356	0,0354	0,0350
Berilio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bismuto (*)	mg/L	0,009	0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Boro (*)	mg/L	0,002	0,008	0,293	0,310	0,293	0,315
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Calcio (*)	mg/L	0,002	0,006	0,722	3,665	3,185	3,063
Cerio (*)	mg/L	0,02	0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Cobalto (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Cobre (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	4,6627	0,3458	0,2184
Cromo (*)	mg/L	0,0002	0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Estaño (*)	mg/L	0,001	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Estroncio (*)	mg/L	0,00004	0,00010	0,01600	0,02910	0,02680	0,02640
Fosforo (*)	mg/L	0,01	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,004	0,028	0,061	0,095	0,088
Litio (*)	mg/L	0,0003	0,0009	0,0586	0,0596	0,0570	0,0610
Magnesio (*)	mg/L	0,005	0,020	0,113	0,822	0,559	0,590
Manganeso (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0074	0,8788	0,7006	0,5722
Mercurio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Molibdeno (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Níquel (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Plata (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Piomo (*)	mg/L	0,002	0,006	11,643	7,938	6,990	7,019
Potasio (*)	mg/L	0,04	0,10	0,20	2,02	1,72	2,12
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 5 de 6

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-24590

N° Id.: 0000092755

ITEM	6	8	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-77549	M-23-77550	M-23-77551	M-23-77552			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	1:13150	1:1 31540	1:2 31540	1:3 31540			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso			
SUB PRODUCTO:	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada	Agua Purificada			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	03-11-2023 00:07	03-11-2023 00:47	04-11-2023 01:19	04-11-2023 02:12			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Sodio (*)	mg/L	0,004	0,010	2,715	6,153	5,845	5,646
Silice (*)	mg/L	0,001	0,004	0,487	1,972	1,847	2,027
Talio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Titanio (*)	mg/L	0,0007	0,0020	0,1199	0,1201	0,1203	0,1201
Uranio (*)	mg/L	0,005	0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Vanadio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	0,2131	0,1584	0,1604

Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

pag. 6 de 6

Anexo 5. Ficha técnica de zeolita



ZEOLITA FICHA TÉCNICA

Medio filtrante de zeolita de 4ta generación.

Se aplica en tratamiento de agua para consumo humano, uso recreativo, protección a sistemas de osmosis inversa.

BENEFICIOS:

- Ahorro de agua en retrolavados
- Ahorro de espacio, filtros mas pequeños.
- Material prelavado, menos horas de puesta en marcha.
- Ahorro económico.
- Alta resistencia mecánica y bajo contenido de arcillas, no se desintegra.
- Reduce hasta en un 70% la turbidez y el SDI.
- Filtra partículas de hasta 1 micra.

CARACTERISTICA	ESTANDAR	ZEOLITA 12-20	ZEOLITA 14-40
Peso Volumetrico (Kg/m ³)	ASTM D7283-09	690-780	690-730
Malla	ASTM D1921-18	8-20	14-40
Coefficiente de uniformidad	ASTM D1921-18	1,48	1,27
Material debajo de malla	ASTM D1921-18	2%	2%
Material disgregable	Método Zeomex	3,50%	3,50%
Firmeza	Texturómetro TVT	79	77,4
Superficie (m ² /g)	Método BET	35-40	35-40
Clinoptilolita	Difracción rayos X	75%-83%	75%-83%
Arcilla	Difracción rayos X	3%	3%

PARAMETRO	ZEOLITA 12-20	ZEOLITA 14-40
Velocidad de flujo de servicio (gpm/pie ²)	8-20	8-12
Velocidad de flujo de retrolavado (gpm/pie ²)	15-20	15-20
Expansión	50%	50%
Altura del lecho	30"-48"	30"-48"





Material Safety Data Sheet
Black Iron Oxide

Edition: 30/06/2013
In compliance with Regulation (EC)1907/2006
Regulation (EC) 1272/2008 and Regulation (EC) 453/2010

1.1) Identification of substance/preparation and of the company undertaking

Material	Black Iron Oxide
Product Name	Magnetite (Natural), Magnetite (Synthetic)
Synonyms	Natural Black Iron Oxide, Magnetite
EC No	215-570-8
CAS No	1332-37-2
REACH registration No	Exempted in accordance with Annex V.7
Company	Inoxia Ltd 45.7 Dunsfold Park Stovolds Hill Cranleigh Surrey GU6 8TB Tel: 02032 909990 safety@inoxia.co.uk www.inoxia.co.uk

1.2) Relevant identified uses

Use of the substance/preparation:
Substance used as such, in formulation or in formulation of products for:

- Foundries
- Glass
- Ceramics
- Steel industries
- High Density filler

Uses advised against
There is no known adverse use of the substance

2) Hazard Identification

Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]

Physical and chemical hazards: Not classified
Human health: Not classified
Environment: Not classified
Full text of H-phrases: see section 16

Classification according to Directive 67/548/EEC or 1999/45/EC

Not classified
Full text of R-phrases: see section 16

Adverse physicochemical, human health and environmental effects

None known.

2.2. Label elements

Labelling according to Regulation (EC) No. 1272/2008 (CLP)

None

2.3. Other hazards

This substance/mixture does not meet the PBT criteria of REACH, annex XIII.

3) Composition

Chemical Name	EC-No	CAS-No.	Weight %	Classification (67/548/EEC)	Classification (1272/2008/EC)
Magnetite	215-570-8	1332-37-2	>90	Not classified	Not classified

4) First Aid Measures

4.1. Description of first aid measures

Inhalation: Move the exposed person to fresh air at once. Get medical attention if any discomfort continues.

Ingestion: Rinse mouth thoroughly. Get medical attention if any discomfort continues.

Skin contact: Wash skin with soap and water. Get medical attention if irritation persists after washing.

Eye contact: Make sure to remove any contact lenses from the eyes before rinsing.

Rinse water immediately. Get medical attention if any discomfort continues.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Inhalation: No specific symptoms noted.

Ingestion: No specific symptoms noted.

Skin contact: No specific symptoms noted.

Eye contact: No specific symptoms noted.

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Treat symptomatically.

5) Fire Fighting

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media: This product is not flammable. Use fire extinguishing media appropriate for the surrounding conditions.

Unsuitable extinguishing media: None

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Fire hazard: Not flammable.

Explosion hazard: No explosive properties known.

Reactivity: Stable under normal conditions of handling and storage.

5.3. Advice for firefighters

Protection during firefighting: No specific firefighting procedures given.

6) Accidental Release

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

General measures: Keep public away from danger area. See section 8.2.

6.1.1. For non-emergency personnel

No additional information available

6.1.2. For emergency responders

Anexo 7. Especificaciones técnicas del filtro manga de 1µm

Bolsa filtrante polipropileno 1µm, Ø4" x 15"

Proveedor: Ernes Perú SAC

Descripción	
Micrón Calificación	1 µm
Peso	540g
Espesor:	2.7 mm
Permeabilidad del Aire:	12 m3/m2/min @200pa
Medidas	Ø 4" X 15" Long
Parte superior	F anillo de plástico
Parte inferior	Tipo U
Acabado	Termofusionado
Máximo flujo	12 m3/h
Área de filtro	0.16 m2
Volumen	2.5 L
Tratamiento - Superficie	Calandrado