

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“ADSORCIÓN CON QUITOSANO PARA LA REMOCIÓN DE
MANGANESO EN SOLUCIONES ACUOSAS A NIVEL DE
LABORATORIO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

AUTORES

BACA BELLIDO VICTOR ANDRES
HUARI SUÁREZ DAYANNA LUZ
LÉVANO CUSI GABRIELA

ASESOR

ING° ANGELES QUEIROLO CARLOS ERNESTO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CALLAO – 2024

PERÚ

9. TESIS - HUARI SUÁREZ - LEVANO CUSI - BACA BELLIDO



Nombre del documento: 9. TESIS - HUARI SUÁREZ - LEVANO CUSI - BACA BELLIDO.pdf ID del documento: 031dfbc6810f66b20498552968d12bcf1d03532 Tamaño del documento original: 2.52 MB Autores: []	Depositante: FIQ PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION Fecha de depósito: 24/12/2024 Tipo de carga: Interface fecha de fin de análisis: 24/12/2024	Número de palabras: 25.594 Número de caracteres: 174.331
--	--	---

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	sired.udenar.edu.co https://sired.udenar.edu.co/3248/1/89960.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (130 palabras)
2	1A: FERNÁNDEZ QUIROZ, Milagros Yasmín; LOAYZA PADILLA, Raúl Eduar... #82167 El documento proviene de mi grupo 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (131 palabras)
3	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/1/8480/1/Cercado_CDL.pdf 9 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (81 palabras)
4	1A: MARZANO VÁSQUEZ-Liz Milagros; TORRES LÓPEZ-Gisela Giuliana; TE... #37656 El documento proviene de mi grupo 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (53 palabras)
5	www.argentina.gob.ar https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/documento59.pdf 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.uncp.edu.pe http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/20.500.12894/1/013/1/Luante_vargas_Arnold_David_.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
2	invento.uaem.mx http://www.revista.uaem.mx/index.php/revista/articulo/download/75/615/1825	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	papyrus.bib.umontreal.ca https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/22102/Wuilar_Sawroop_5_2018...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/1/40686/1/Mvarez_DA-Neyra_CM-SD.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (52 palabras)
5	doi.org Assessing Sustainability of Wastewater Management Systems in a Multi-Sca... https://doi.org/10.3390/w11020249	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)

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

1	https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691
2	https://doi.org/10.1007/s13762-023-04812
3	https://doi.org/10.1038/s41598-021-99443-3
4	https://doi.org/10.1289/EHP9704
5	https://slar.regioncajamarca.gob.pe/normas/ds-ndeg-031

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TÍTULO DEL PROYECTO: “ADSORCIÓN CON QUITOSANO PARA LA REMOCIÓN DE MANGANESO EN SOLUCIONES ACUOSAS A NIVEL DE LABORATORIO”

AUTORES: Bach. VICTOR ANDRES BACA BELLIDO
CÓDIGO ORCID 0009-0006-5734-7699
DNI 70911684

Bach. DAYANNA LUZ HUARI SUÁREZ
CÓDIGO ORCID 0009-0002-7956-7183
DNI 7867619

Bach. GABRIELA LEVANO CUSI
CÓDIGO ORCID 0009-0005-6866-476
DNI 47785210

ASESOR: Mg. CARLOS ERNESTO ANGELES QUEIROLO
CÓDIGO ORCID 0000-0002-2021-188X
DNI 25660296

LUGAR DE EJECUCIÓN: LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y LABORATORIO DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

UNIDAD DE ANÁLISIS: SOLUCIONES ACUOSAS DE MANGANESO

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: APLICADA / CUANTITATIVA / EXPERIMENTAL

TEMA OCDE: INGENIERÍA DE PROCESOS

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue sustentada por los Bachiller **BACA BELLIDO VICTOR ANDRES**, **HUARI SUÁREZ DAYANNA LUZ** y **LÉVANO CUSI GABRIELA** ante el Jurado de Sustentación de Tesis conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

ING° RODRIGUEZ VILCHEZ RICARDO	Presidente
Lic. REYNA SEGURA ANA MARIA	Secretaria
ING° PANTOJA CADILLO AGERICO	Vocal
ING° HERRERA SANCHEZ SONIA ELIZABETH	MIEMBRO SUPLENTE
ING° AVALOS JACOBO VICTOR HUGO	Asesor

Tal como está asentado en el Libro de actas N° 01 Folio N° 156 y Acta N° 155 de fecha diciembre 28 de 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 15 de junio de 2023

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza de seguir adelante de terminar este reto trazado como una promesa, a pesar de las dificultades encontradas en el camino y llevarlo con mucha responsabilidad.

A mi familia por darme su apoyo incondicional para el logro de mis objetivos y por ayudarme en todo lo necesario para seguir con mis metas.

Dayanna Huari Suárez

A Dios por haberme permitido culminar la carrera y darme unos padres maravillosos, que han creído en mí, dándome el apoyo incondicional con consejos, afecto y cariño llevándome a ser la persona que me he convertido.

Victor Baca Bellido

El presente trabajo se lo dedico a mi familia por su amor y apoyo incondicional, por sus enseñanzas, por los valores que me inculcaron, por el tiempo, esfuerzo, energía y paciencia que me concedieron; y a mis amigas por creer en mí y motivarme a continuar.

Gabriela Lévano Cusi

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestros agradecimientos a nuestros familiares por su apoyo inconmensurable para afrontar las adversidades que nos hemos enfrentado a lo largo de estos años de carrera.

Agradecemos a la Universidad Nacional del Callao, que nos brindó la oportunidad de llevar nuestros estudios a un siguiente nivel, dándonos las herramientas para convertirnos en unos mejores profesionales.

A nuestro asesor, el Ing. Carlos Angeles Queirolo por guiarnos, compartir su experiencia, y darnos el soporte para realizar la presentación de la presente tesis.

Gracias a todas las personas que nos apoyaron directa e indirectamente en este trabajo de investigación

ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	9
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	11
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4 JUSTIFICACIÓN	12
1.4.1 LEGAL	12
1.4.2 TEÓRICO	13
1.4.3 TECNOLÓGICA	13
1.4.4 SOCIAL	14
1.5 DELIMITANTES DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.5.1 TEÓRICA	14
1.5.2 TEMPORAL	14
1.5.3 ESPACIAL	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES	16
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	16
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	21
2.2. BASES TEÓRICAS	24
2.2.1. LA ADSORCIÓN	24
2.2.2. QUITINA Y QUITOSANO	32

2.2.3. EL QUITOSANO EN LA REMOCIÓN DE METALES	36
2.2.4. MANGANESO	38
2.3. MARCO CONCEPTUAL	40
2.3.1 RESIDUOS DE CAPARAZONES DE CRUSTÁCEOS COMO FUENTE POTENCIAL DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN EL AGUA	40
2.3.2 MANGANESO EN EL AGUA	42
2.3.3 DEFICIENCIA Y TOXICOLOGÍA DEL MANGANESO	43
2.3.4 EL MANGANESO EN EL MEDIO AMBIENTE Y SUS EFECTOS EN LA SALUD	43
2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	45
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	46
3.1. HIPÓTESIS	46
3.1.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	46
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	48
4.1. DISEÑO METODOLÓGICO	48
4.1.1. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA CONCENTRACIÓN, VELOCIDAD DE AGITACIÓN Y TIPO DE QUITOSANO DE ESTUDIO	48
4.1.2. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA TIEMPO DE ADSORCIÓN	49
4.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	50
4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	51
4.4. LUGAR DE ESTUDIO Y PERIODO DE DESARROLLO	51
4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	51
4.5.1. TÉCNICA	52
4.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES	60
4.6. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	61
4.7. ASPECTOS ÉTICOS EN INVESTIGACIÓN	62
V. RESULTADOS	63
5.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS	63
5.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL QUITOSANO POR F-TIR	63
5.1.2. RESULTADOS DESCRIPTIVOS DE LA CONCENTRACIÓN DE QUITOSANO, VELOCIDAD DE AGITACIÓN Y TIPO DE QUITOSANO SOBRE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN	64

5.1.3. RESULTADOS DESCRIPTIVOS DEL TIEMPO DE ADSORCIÓN SOBRE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN	67
5.2. RESULTADOS INFERENCIALES	68
5.2.1. CONCENTRACIÓN DE QUITOSANO, VELOCIDAD DE AGITACIÓN Y TIPO DE QUITOSANO EN LA REMOCIÓN DE MANGANESO	68
5.2.2. TIEMPO DE ADSORCIÓN Y LA REMOCIÓN DE MANGANESO	70
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	72
6.1. CONTRASTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS.	72
6.1.1. HIPÓTESIS SOBRE EL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE QUITOSANO:	73
6.1.2. HIPÓTESIS SOBRE EL EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DEL QUITOSANO	75
6.1.3. HIPÓTESIS SOBRE EL EFECTO DEL TIPO DE QUITOSANO	77
6.1.4. HIPÓTESIS SOBRE EL EFECTO DEL TIEMPO DE ADSORCIÓN	79
6.2. CONTRASTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS CON OTROS AUTORES.	81
6.2.1. CONCENTRACIÓN DE QUITOSANO	81
6.2.2. VELOCIDAD DE AGITACIÓN	82
6.2.3. TIPO DE QUITOSANO	82
6.2.4. TIEMPO DE ADSORCIÓN	83
VII.CONCLUSIONES	85
VIII.RECOMENDACIONES	86
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Comparación de la adsorción física y química.....	28
Tabla 2	Riesgos y límites de exposición del manganeso	39
Tabla 3	Propiedades Físicas–Químicas de Mn	40
Tabla 4	Matriz de operacionalización de variables	47
Tabla 5	Factores y niveles de experimentación.....	48
Tabla 6	Matriz de experimentación	49
Tabla 7	Diseño experimental del tiempo y la remoción de manganeso	50
Tabla 8	Eficiencia de remoción de manganeso a partir de quitosano	64
Tabla 9	Estadísticos descriptivos de los resultados de los indicadores	
	experimentales.....	65
Tabla 10	Remoción del Manganeso a medida que el tiempo se incrementa ..	67
Tabla 11	Resultados de la Normalidad en función de la eficiencia de	
	remoción	69
Tabla 12	Homogeneidad de varianza.....	69
Tabla 13	Análisis de la varianza (ANOVA)	70
Tabla 14	Análisis de la Normalidad.....	70
Tabla 15	Análisis correlacional.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Clasificación de diferentes tipos de zeolitas y sus ventajas	26
Figura 2	Fuentes de quitina, clasificación, biosíntesis y transformación del quitosano.....	32
Figura 3	Estructura de la quitina y del quitosano	33
Figura 4	Estructura y proceso de recuperación de quitina.....	36
Figura 5	Recuperación de compuestos bioactivos de los desechos del procesamiento del camarón	41
Figura 6	Proceso de preparación coagulante quitosano.....	52
Figura 7	Proceso de despigmentación	53
Figura 8	Proceso de desmineralización.....	54
Figura 9	Proceso de desproteínización	55
Figura 10	Proceso de desacetilación	56
Figura 11	Proceso de curva patrón en espectrofotómetro.....	57
Figura 12	Proceso de tratamiento de muestras.....	59
Figura 13	Resultados del espectro FT-IR del quitosano	63
Figura 14	Gráfico de efecto de Half-Normal	65
Figura 15	Gráfico de efectos de los indicadores sobre la eficiencia	66
Figura 16	Disminución de la concentración de manganeso hasta la saturación del quitosano experimental	68

RESUMEN

El objetivo general de la investigación, "Evaluar el efecto de la adsorción con quitosano sobre la remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio", fue alcanzado mediante un diseño experimental factorial que evaluó los factores concentración de quitosano, velocidad de agitación, y tipo de quitosano, mientras que el tiempo de adsorción fue analizado de forma independiente para medir la variación de la remoción a lo largo de 8 horas. Los resultados demostraron que la concentración de quitosano fue el factor más significativo, alcanzando una remoción máxima del 38,79% con una dosis de 40 g y una velocidad de agitación de 200 RPM. Aunque la velocidad de agitación no tuvo un efecto significativo por sí sola ($p = 0,351$), mostró un efecto complementario en combinación con dosis altas de quitosano. El análisis del tipo de quitosano evidenció que el quitosano experimental fue más eficiente que el comercial, con una remoción máxima ligeramente superior bajo condiciones óptimas ($p = 0,001$). El tiempo de adsorción mostró una relación positiva fuerte con la remoción ($r = 0,991$; $p = 0,001$), alcanzando el 39,43% tras 8 horas y una estabilización notable después de las primeras 4 horas debido a la saturación del quitosano. El análisis estadístico validó el diseño experimental, confirmando que la concentración y el tiempo son las variables más determinantes para optimizar la eficiencia de remoción, con p -valores altamente significativos ($< 0,0001$). En conclusión, los resultados confirman el potencial del quitosano como un adsorbente eficaz para la remoción de manganeso en condiciones de laboratorio y ofrecen una base sólida para desarrollar procesos de tratamiento de aguas más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: Quitosano, adsorción, remoción de manganeso en soluciones acuosas.

ABSTRACT

The general objective of the research, "To evaluate the effect of chitosan adsorption on manganese removal in aqueous solutions at a laboratory level", was achieved through a factorial experimental design that assessed the factors of chitosan concentration, agitation speed, and type of chitosan, while adsorption time was independently analyzed to measure the variation in removal over 8 hours. The results demonstrated that chitosan concentration was the most significant factor, achieving a maximum removal of 38,79% with a dose of 40 g and an agitation speed of 200 RPM. Although agitation speed did not have a significant effect on its own ($p = 0,351$), it showed a complementary effect when combined with high chitosan doses. The analysis of the type of chitosan revealed that experimental chitosan was more efficient than commercial chitosan, achieving slightly higher removal under optimal conditions ($p = 0,001$). The adsorption time exhibited a strong positive correlation with removal efficiency ($r = 0,991$; $p = 0,001$), reaching 39,43% after 8 hours and stabilizing notably after the first 4 hours due to chitosan saturation. The statistical analysis validated the experimental design, confirming that chitosan concentration and adsorption time are the most critical variables for optimizing removal efficiency, with highly significant p -values ($< 0,0001$). In conclusion, the results confirm the potential of chitosan as an effective adsorbent for manganese removal in laboratory conditions and provide a solid foundation for developing more efficient and sustainable water treatment processes.

Keywords: Chitosan, adsorption, manganese removal in aqueous solutions.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados en cuerpos de agua es un problema ambiental de creciente preocupación a nivel global, debido a los efectos tóxicos y persistentes de estos contaminantes en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana [1]. Entre los metales pesados, el manganeso es uno de los más comunes en las aguas residuales industriales y mineras, donde su presencia elevada puede alterar la calidad del agua y poner en riesgo la vida acuática y la salud pública [2]. La adsorción se ha propuesto como una técnica eficaz para la remoción de manganeso, porque permite la interacción entre los iones metálicos disueltos y un material adsorbente, facilitando su captura y posterior eliminación del sistema acuoso [3]. Este enfoque es relevante cuando se emplean adsorbentes naturales y sostenibles, como el quitosano, por su capacidad de captar eficazmente metales pesados mediante enlaces químicos específicos.

El quitosano, un biopolímero derivado de la quitina, se ha destacado por su alta capacidad de adsorción debido a su estructura química que contiene grupos amino e hidroxilo, los cuales pueden interactuar de manera eficiente con los iones metálicos en soluciones acuosas [4]. Además de ser abundante, biodegradable y de bajo costo, este material ha sido ampliamente investigado en procesos de adsorción para la remoción de diversos contaminantes, incluyendo metales pesados como el manganeso [5]. En el contexto la aplicación del quitosano como adsorbente para la remoción de manganeso presenta una oportunidad para evaluar la eficiencia del proceso en condiciones controladas, permitiendo la optimización de parámetros clave como la concentración del adsorbente y la velocidad de agitación. Este estudio tiene como objetivo evaluar la efectividad de la adsorción con quitosano para la remoción de manganeso en soluciones acuosas, analizando variables clave que afectan el rendimiento del proceso. La investigación busca contribuir al desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas más sostenibles y eficientes, ofreciendo una alternativa económica y ecológica para la mitigación de la contaminación por manganeso.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En las últimas décadas, la contaminación del agua por metales pesados ha emergido como una de las preocupaciones ambientales más críticas a nivel global [6]. El manganeso, en particular, es un metal que, en concentraciones elevadas, puede causar serios problemas de salud y dañar los ecosistemas acuáticos [7].

Las principales fuentes de contaminación por manganeso incluyen la minería, la metalurgia y las aguas residuales industriales. Actividades humanas como la extracción minera, la producción de aleaciones de manganeso, la soldadura, el uso de hornos de coque y la fabricación de sales de manganeso contribuyen significativamente a la liberación de este metal en el medio ambiente. Además, las actividades mineras en regiones húmedas y el uso de productos químicos en la fabricación de cerámica, vidrio, latas de aluminio y componentes electrónicos pueden incrementar la toxicidad ambiental por manganeso. Las plantas pueden absorber o utilizar manganeso bajo ciertas condiciones específicas, lo que también contribuye a la acumulación de este elemento en el entorno según las consecuencias toxicológicas de contaminantes de manganeso de minería [8]

En América Latina, la contaminación del agua por manganeso es un problema creciente, particularmente en regiones con intensas actividades mineras e industriales, como Brasil, Chile y Perú. Según, la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales y la deficiente regulación ambiental han exacerbado esta problemática, contaminando las aguas superficiales contaminado a las comunidades locales [9], por ejemplo, la contaminación del Rio Yauli presentando una concentración de Manganeso de 18,41 mg/L [10] o aguas subterráneas con presencia de Manganeso en 0.68 mg/L [11]

En el Perú, la minería es una de las principales actividades económicas, pero también es una de las mayores fuentes de contaminación por metales pesados, incluido el manganeso [12]. Las regiones como Cajamarca y La Libertad han reportado niveles preocupantes de manganeso en sus cuerpos de agua,

afectando la calidad del agua y la salud de las poblaciones locales [13]. A pesar de las regulaciones vigentes, la aplicación de tecnologías de tratamiento de agua sigue siendo un desafío, especialmente en zonas rurales con acceso limitado a recursos tecnológicos avanzados. Existiendo la necesidad urgente de desarrollar métodos de tratamiento que sean eficaces, sostenibles y accesibles.

En concentraciones elevadas, el manganeso en el agua puede causar problemas tanto ambientales como sociales, afectando la calidad del agua y poniendo en riesgo la salud de las comunidades que dependen de estas fuentes para su consumo [14]. El manganeso, cuando se encuentra en concentraciones superiores a los niveles recomendados puede alterar significativamente la calidad del agua. En los cuerpos de agua, el manganeso tiende a precipitar en condiciones alcalinas y bajas concentraciones de oxígeno, formando depósitos que pueden causar la decoloración del agua y afectar su sabor y olor, lo que la hace inapropiada para el consumo humano [15]. El consumo de agua con altos niveles de manganeso está asociado con una serie de problemas de salud, particularmente en poblaciones vulnerables como los niños, quienes pueden sufrir daños neurológicos por la exposición prolongada a este metal [16]. La acumulación de manganeso en los cuerpos de agua puede tener efectos devastadores en los ecosistemas acuáticos. Este metal puede ser tóxico para diversas formas de vida acuática, afectando la biodiversidad y alterando la estructura de las comunidades biológicas en estos hábitats [17]. Los organismos acuáticos, como peces y plantas, pueden sufrir efectos adversos debido a la exposición prolongada al manganeso, lo que puede llevar a una reducción en la población de especies y, en casos extremos, a la pérdida de biodiversidad.

A pesar de los esfuerzos para mitigar la liberación de metales pesados en el ambiente, las tecnologías convencionales de tratamiento de agua como la precipitación química y la filtración presentan limitaciones en cuanto a su eficiencia y costos, lo que impulsa la búsqueda de métodos alternativos más sostenibles y eficaces [18]

El quitosano, ha demostrado ser un adsorbente eficiente para la remoción de metales pesados, incluyendo el manganeso, debido a su alta capacidad de adsorción y su estructura química versátil [19]. Diversos estudios han mostrado

que el quitosano puede ser modificado para mejorar su capacidad de adsorción, convirtiéndose en una alternativa prometedora para el tratamiento de aguas contaminadas [20]. Su bajo costo, su fácil degradabilidad y disponibilidad hacen del quitosano un material atractivo para su uso en tecnologías de tratamiento de presentando una solución de bajo costo y alta eficiencia son particularmente necesarias.

La presente investigación tiene la necesidad de desarrollar y optimizar métodos de remoción de manganeso en soluciones acuosas que sean aplicables en contextos de contaminación real. Al explorar la efectividad del quitosano como adsorbente en la adsorción de manganeso, se busca no solo aportar al conocimiento científico en esta área, sino también ofrecer una solución práctica y sostenible que pueda ser implementada en regiones afectadas por la contaminación de metales pesados. Los resultados de esta investigación podrían sentar las bases para futuras aplicaciones a mayor escala, contribuyendo significativamente a la mejora de la calidad del agua y la salud pública en áreas vulnerables.

1.2 Formulación del problema

En este trabajo de investigación experimental se propone la adsorción con quitosano para la remoción de manganeso, para lo cual se han formulado las siguientes preguntas.

1.2.1. Problema general

¿Cuál será el efecto de la adsorción con quitosano sobre la remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio?

1.2.2. Problemas específicos

- 1) ¿Cuál será el efecto de la concentración de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel de laboratorio?
- 2) ¿Cuál será el efecto de la velocidad de agitación de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio?
- 3) ¿Cuál será el efecto del tipo de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio?

- 4) ¿En qué medida se relaciona el tiempo de adsorción de quitosano y el aumento de la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la adsorción con quitosano sobre la remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.

1.3.2. Objetivos específicos

- 1) Determinar el efecto de la concentración de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.
- 2) Determinar el efecto de la velocidad de agitación de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.
- 3) Determinar el efecto del tipo de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.
- 4) Determinar la relación entre el tiempo de adsorción de quitosano y el aumento de la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.

1.4 Justificación

El presente proyecto de investigación radica en su aplicabilidad como medida alternativa para adsorber el manganeso que puede estar presente en las aguas residuales.

1.4.1. Legal

La remoción de manganeso de cuerpos de agua mediante la adsorción con quitosano tiene una sólida justificación legal al cumplir con normativas ambientales y de salud pública que establecen límites estrictos para la presencia de metales pesados en el agua potable y en cuerpos de agua naturales. Organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y regulaciones nacionales imponen límites máximos permisibles para el manganeso debido a sus efectos negativos en la salud humana y los ecosistemas [21]. En Perú, el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo N° 031-2010-SA) establecen parámetros específicos para la concentración de manganeso en el agua potable [22] y el estándar de agua ambiental.[23]. Estas

normativas buscan asegurar que el agua distribuida sea apta para el consumo humano, protegiendo así tanto la salud pública como los recursos hídricos. El incumplimiento de estos estándares puede conllevar sanciones legales y riesgos para la salud. La implementación de tecnologías de adsorción con quitosano para remover manganeso no solo garantiza el cumplimiento de estas regulaciones, sino que también refleja un compromiso con la protección ambiental y la salud pública. Al utilizar un enfoque sostenible y eficiente, esta tecnología se alinea con las políticas de desarrollo sostenible, evitando sanciones legales y preservando la calidad del agua para futuras generaciones.

1.4.2. Teórico

La contaminación por metales pesados como el manganeso en cuerpos de agua es una preocupación crítica a nivel global debido a su toxicidad y los riesgos que presenta tanto para los ecosistemas acuáticos como para la salud humana [24]. La adsorción se posiciona como una técnica eficiente para la remoción de estos contaminantes, debido a su capacidad para captar y retener iones metálicos disueltos en soluciones acuosas [25]. El quitosano, ha demostrado ser un adsorbente eficaz gracias a su estructura química que contiene grupos amino e hidroxilo, los cuales permiten una alta afinidad con los iones metálicos. Este material es rápidamente degradable, abundante y de bajo costo, características que lo hacen atractivo para procesos de tratamiento de aguas contaminadas [26]. Justificar el uso del quitosano en la adsorción de manganeso se fundamenta en su potencial para ofrecer soluciones ecológicas, sostenibles y escalables, contribuyendo al desarrollo de tecnologías más verdes y eficientes en la gestión de la contaminación por metales pesados en diferentes entornos [27]

1.4.3. Tecnológica

La adsorción con quitosano para la remoción de manganeso en soluciones acuosas presenta una sólida justificación basada en la necesidad de desarrollar tecnologías de tratamiento de agua eficientes y económicamente accesibles. Los métodos convencionales suelen ser prohibitivamente costosos debido a su alta demanda de insumos químicos, energía y mantenimiento, lo que los hace menos viables en entornos con recursos limitados [28]. En este contexto, el uso de quitosano como adsorbente ofrece una alternativa económica y sostenible, un

subproducto abundante y de bajo costo [29]. La adsorción con quitosano es sencillo, no requiere infraestructura compleja ni un consumo energético elevado, lo que reduce significativamente los costos operativos. Su implementación en sistemas de tratamiento de aguas de pequeñas y medianas empresas o municipios con presupuestos limitados resulta viable, porque no implica gastos prohibitivos y permite un manejo eficiente de la contaminación. Por lo tanto, se busca mejorar la eficiencia de adsorción de manganeso, disminuyendo los costos por unidad de agua tratada, haciendo así del quitosano un recurso competitivo frente a otras tecnologías más costosas.

1.4.4. Social

La adsorción de manganeso en cuerpos de agua utilizando quitosano se basa en la necesidad de desarrollar métodos eficaces y accesibles para la remoción de contaminantes metálicos. El manganeso, presente en muchas fuentes de agua, especialmente en regiones afectadas por actividades industriales o mineras, es un metal que puede tener efectos nocivos en la salud humana y los ecosistemas [30]. El quitosano tienen un bajo costo y fácil degradación lo hace particularmente adecuado para aplicaciones en zonas con recursos limitados [31]. Esta tecnología no solo ofrece una solución efectiva a la contaminación por manganeso, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental y la equidad social al proporcionar un medio accesible y asequible para mejorar la calidad del agua, contribuyendo así al bienestar de las comunidades.

1.5 Delimitantes de la investigación

1.5.1. Teórica

La delimitación teórica de esta investigación se enfoca en el estudio de la adsorción como un método de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, específicamente manganeso, utilizando quitosano como adsorbente. Además, se explorarán las ventajas y limitaciones de la adsorción en comparación con otros métodos convencionales de tratamiento de aguas, como la precipitación química, la filtración avanzada y el intercambio iónico.

1.5.2. Temporal

La investigación está delimitada temporalmente a un período de 4 meses, comprendido entre Setiembre de 2024 y diciembre de 2024

1.5.3. Espacial

La delimitación espacial de la investigación se circunscribe a un entorno controlado en el Laboratorio de Investigación y el Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional del Callao, donde se llevarán a cabo los experimentos de adsorción con soluciones acuosas que simulan condiciones de contaminación por manganeso.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

El estudio titulado "*Removal of divalent manganese from aqueous solution using glycine modified chitosan resin*" tiene como objetivo evaluar la capacidad de un material a base de quitosano modificado con glicina (G-Chs) para la eliminación de Mn(II) de soluciones acuosas, la metodología empleada incluye la síntesis del material mediante procesos de entrecruzamiento y modificación química, seguido de pruebas de adsorción en función de parámetros como pH, concentración de Mn(II) y tiempo de contacto. Los resultados muestran que el material tiene una capacidad máxima de adsorción de 1,3 mmol/g a pH 6°C y 25°C, con un tiempo de equilibrio de 150 minutos. Los datos ajustaron mejor al modelo isotérmico de Langmuir y al modelo cinético de pseudo-segundo orden, mientras que el proceso se describió como espontáneo y exotérmico según parámetros termodinámicos. La regeneración del adsorbente mostró eficiencias superiores al 93% usando HCl 1,0 M, indicando su reutilización efectiva. En conclusión, el material G-Chs es un adsorbente prometedor para la remoción de Mn(II) en aplicaciones ambientales debido a su alta eficiencia, estabilidad y sostenibilidad [32]

En el trabajo de investigación "*Coagulante de silicato férrico de polialuminio (PAFS) asistido por quitosano para el tratamiento de aguas residuales del lavado de lana*", el objetivo fue evaluar la eficacia de esta combinación en la reducción de la turbidez y la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas residuales industriales, considerando variables como la composición del coagulante, la concentración utilizada y el pH del medio. La metodología incluyó el uso de diferentes concentraciones de PAFS y quitosano, midiendo su capacidad de coagulación mediante la reducción de contaminantes y el análisis de potencial zeta para investigar los mecanismos de interacción entre ambos compuestos. Los resultados demostraron que el PAFS, en concentración elevadas, ofrecía un buen desempeño en la coagulación de los contaminantes presentes, mientras que el quitosano por sí solo mostraba una capacidad limitada para este fin. Sin embargo, la combinación de ambos compuestos fue altamente efectiva, logrando

reducir en un 40% la concentración necesaria de PAFS y en un 80% la de quitosano, manteniendo una alta eficiencia en la coagulación. Además, esta combinación amplió el rango operativo de pH, lo que otorgó mayor flexibilidad al proceso sin afectar su eficacia. Las conclusiones revelaron un efecto sinérgico entre PAFS y quitosano, optimizando el tratamiento de las aguas residuales y demostrando la importancia de usar combinaciones de coagulantes para mejorar los procesos de tratamiento, reduciendo la contaminación ambiental y los costos operativos [33]

En el trabajo de investigación “*Compuesto de cáscara de coco recubierto de quitosano: una solución para el tratamiento de aguas residuales de curtiduría contaminadas con Cr(III)*”, el estudio tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de utilizar cáscaras de coco recubiertas con quitosano como material de bajo costo para la eliminación de cromo trivalente (Cr(III)) de aguas residuales provenientes de curtidurías, con el propósito de proteger el medio ambiente y la salud pública. La metodología empleada consistió en recubrir las cáscaras de coco con quitosano para mejorar su capacidad de adsorción, formando un compuesto que fue evaluado para la eliminación de Cr (III). Este compuesto fue regenerado mediante ácido nítrico (HNO₃) con el fin de mantener la rentabilidad del proceso. Comparó el rendimiento del compuesto con otros adsorbentes de bajo costo y utilizó un modelo de regresión de aprendizaje automático (MLR) para predecir los datos experimentales de adsorción. Los resultados del estudio indicaron que el compuesto logró una remoción del 97% de Cr (III) cuando la concentración inicial fue de 20 mg/L, bajo condiciones optimizadas de 4 g/L de concentración, pH de 6,5; una velocidad de agitación de 200 rpm y un tiempo de reacción de 1 hora. La adsorción siguió el modelo de Langmuir y lo ajustó a una cinética de pseudo–segundo orden, lo que demostró que el proceso fue espontáneo de acuerdo con los valores del parámetro termodinámico ΔG . No obstante, aunque los resultados fueron prometedores, los efluentes tratados no cumplieron con el límite de descarga de Cr(III) de menos de 0,5 mg/L exigido por la legislación local, sugiriendo la necesidad de un tratamiento adicional para alcanzar los estándares requeridos. Las conclusiones señalaron que este estudio destaca el potencial de utilizar residuos no aprovechados de las industrias del coco y del

camarón para la remoción de metales pesados de las aguas residuales industriales, proponiendo una solución innovadora y sostenible para la protección del medio acuático [34]

En el trabajo de investigación “*Síntesis y aplicación de quitosano modificado con ácidos grasos para la remediación de metales pesados en aguas residuales*”, tuvo como objetivo sintetizar un quitosano modificado con ácido palmítico para evaluar su capacidad de eliminar selectivamente iones de Cd (II), As (III) y Pb (II) de muestras de agua contaminada. Para lograrlo, empleó una metodología basada en la disolución del quitosano en ácido acético, seguida de su funcionalización mediante ácido palmítico, utilizando N,N'-diciclohexilcarbodiimida como agente de reticulación. Este proceso permitió introducir sitios donadores de oxígeno en la cadena del quitosano, incrementando su capacidad de atrapar iones metálicos a través de enlaces covalentes. El producto resultante fue caracterizado con diversas técnicas analíticas, como espectroscopía FTIR, microscopía electrónica de barrido (SEM), difracción de rayos X (XRD) y resonancia magnética nuclear (RMN), las cuales confirmaron que la modificación mejoró significativamente la estructura del quitosano y su afinidad por los metales pesados. En cuanto a los resultados, observó que el quitosano modificado presentó una alta capacidad de adsorción, alcanzando valores máximos de 40,98 mg/g para Cd (II), 21,8 mg/g para As (III) y 47,6 mg/g para Pb (II). Los datos experimentales se ajustaron al modelo cinético de pseudo-segundo orden, lo que indica que el proceso de adsorción dependió de la disponibilidad de los sitios activos en el adsorbente. Además, el modelo de isoterma de Langmuir fue el que mejor describió la adsorción de los metales. Los límites de detección y cuantificación obtenidos fueron bajos, lo que demostró la alta sensibilidad del método. Los estudios de desorción indicaron que el adsorbente podía ser regenerado y reutilizado hasta en cuatro ciclos, manteniendo una eficiencia considerable en la remoción de los metales. En conclusión, determinó que el quitosano modificado con ácido palmítico es un adsorbente eficaz y reutilizable para la remoción de Cd (II), As (III) y Pb (II) en soluciones acuosas, lo que lo convierte en una alternativa prometedora para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados [35]

En el trabajo de investigación “*Adsorción de metales pesados y actividad antibacteriana de microesferas compuestas de quitosano dopado con silicio cargadas con ZIF-8*”, sintetizaron un adsorbente bifuncional en forma de microesferas compuesto por quitosano combinado con ZIF-8 dopado con sílice (CS/DS@ZIF-8), con el objetivo de evaluar su capacidad para eliminar iones de metales pesados, específicamente Pb^{2+} y Cu^{2+} , de aguas residuales, y explorar su actividad antimicrobiana. La metodología incluyó la preparación de las microesferas mediante electropulverización, seguida de su caracterización química, morfológica, térmica, de área de superficie específica y tamaño de poro. Los resultados indicaron que las microesferas CS/DS@ZIF-8 mostraron una cristalinidad mejorada, una mayor área de superficie específica y mayor estabilidad térmica en comparación con otros adsorbentes. El proceso de adsorción lo ajustaron a los modelos de Langmuir y cinético de pseudo-segundo orden, con capacidades máximas de adsorción de 340,94 mg/g para Pb^{2+} y 308,27 mg/g para Cu^{2+} , superando significativamente los rendimientos obtenidos con microesferas de CS y CS/DS. Además, las microesferas exhibieron propiedades antibacterianas sobresalientes y mantuvieron una alta capacidad de adsorción tras cinco ciclos de uso. En conclusión, este estudio demostró que el CS/DS@ZIF-8 es un adsorbente eficaz para la remoción de contaminantes químicos y biológicos, destacando su potencial para aplicaciones prácticas en el tratamiento de aguas residuales, ofreciendo una solución prometedora para la eliminación de metales pesados [36]

En el trabajo de investigación “*Eliminación eficiente de colorantes catiónicos mediante un compuesto de hidrogel de quitosano y cáscara de limón: estudios de adsorción y optimización RSM-CCD*”, tuvo como objetivo optimizar la síntesis de un hidrogel basado en cáscara de limón-quitosano, utilizando el diseño compuesto central de la metodología de superficie de respuesta (RSM-CCD). Este material fue diseñado como un adsorbente ecológico y económico para la remoción de colorantes en soluciones acuosas. En cuanto a la metodología, emplearon el diseño RSM-CCD para evaluar las variables de síntesis y maximizar la capacidad de adsorción del hidrogel. El proceso incluyó la preparación del hidrogel y su evaluación frente a varios colorantes comunes en

la industria textil, como safranina O, azul de metileno, fucsina básica, azul de toluidina, verde brillante y violeta cristal, a concentraciones de 10 mg/L. Los resultados mostraron que el hidrogel alcanzó capacidades máximas de adsorción de 24,984; 24,788; 24,862; 23,483; 24,409 y 24,726 mg/g para los respectivos colorantes mencionados. El análisis de los datos de cinéticas de adsorción y las isothermas reveló que el comportamiento de adsorción seguía de manera precisa los modelos de isoterma de Freundlich y cinética de pseudosegundo orden. Además, determinaron la viabilidad termodinámica del proceso mediante los valores de ΔG , ΔH y ΔS , confirmando la factibilidad del mecanismo de adsorción, que atribuyeron principalmente a interacciones electrostáticas entre las moléculas de colorante y el hidrogel. Como conclusión, encontraron que el hidrogel regenerado mantuvo una eficiencia de eliminación superior al 80% después de seis ciclos de uso, lo que demostró su alta reciclabilidad y potencial como solución sostenible para el tratamiento de aguas residuales en la industria textil. Estos resultados destacaron la utilidad y durabilidad del adsorbente como una opción ecológica y rentable para la mitigación de la contaminación [37]

En el artículo titulado "Chitosan nanoparticles extracted from shrimp shells, application for removal of Fe (II) and Mn (II) from aqueous phases", el objetivo fue preparar nanopartículas de quitosano derivadas de desechos de cáscaras de camarón para su uso como adsorbentes en la remoción de hierro (II) y manganeso (II) de soluciones acuosas, utilizando un método de gelación iónica con tripolifosfato de sodio como agente reticulante. La metodología incluyó la extracción de quitosano mediante desmineralización, desproteinización y desacetilación, seguida de su conversión a nanopartículas. Las propiedades de las nanopartículas se caracterizaron mediante FT-IR, TEM, SEM, y análisis de tamaño de partícula. Los experimentos en lotes evaluaron factores como pH, concentración de adsorbente, concentración inicial de metal y tiempo de contacto. Los resultados mostraron eficiencias de remoción del 99,8% para Fe (II) y del 95,3% para Mn (II), con capacidades máximas de adsorción de 116,2 mg/g y 74,1 mg/g, respectivamente. Los modelos de adsorción de Langmuir y cinéticas de pseudo-segundo orden fueron los que mejor ajustaron los datos

experimentales. En conclusión, las nanopartículas de quitosano demostraron ser un material eficiente, económico y amigable con el medio ambiente para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, destacando su potencial como solución sostenible para la eliminación de contaminantes metálicos en sistemas acuosos [38]

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis “*Eficiencia de adsorción con quitosano para la remoción de Cd y Pb en lixiviados del botadero de Haqira, Cusco – 2023*”, el objetivo principal fue determinar la eficiencia de adsorción del quitosano para remover cadmio (Cd) y plomo (Pb) en lixiviados del botadero de Haqira, Cusco, en el año 2023. Se recolectaron cuatro muestras generales, con tres repeticiones de 500 mL para cada una, utilizando diferentes cantidades de quitosano (3, 6, 9 y 12 g) y variando los tiempos de tratamiento (2, 4 y 6 días), bajo condiciones de agitación natural. La metodología siguió un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. Los resultados iniciales indicaron concentraciones de 2,183 mg/L de Cd y 1,8105 mg/L de Pb, a partir de los cuales se realizaron 12 tratamientos con quitosano. Los resultados mostraron que la mayor eficiencia de adsorción para el plomo fue del 58%, mientras que para el cadmio fue del 30%, obtenidos en la muestra 4, repetición 3, con 12 g de quitosano y agitación natural. La discusión reveló que el uso de quitosano es un método factible y rentable para la adsorción de Cd y Pb, dado que este biopolímero es un compuesto natural, fácilmente disponible en el entorno acuático, lo que lo convierte en una opción prometedora para la remediación de metales pesados [29]

En la tesis “*Evaluación de la capacidad de adsorción de un biocompuesto de cascarilla de arroz y quitosano para la remoción de cromo (VI)*”, se tuvo como objetivo brindar soluciones a las industrias que representan fuentes potenciales de contaminación por metales pesados, enfocándose en aquellas que generan efluentes con Cromo (VI), debido a su peligro para la salud humana y el medio ambiente. Planteó la formación de un biocompuesto a partir de cascarilla de arroz, un residuo agroindustrial altamente contaminante en la provincia de Camaná, y quitosano, un biopolímero natural con gran capacidad adsorbente frente a diversos metales pesados. La morfología de la cascarilla de arroz

observó mediante microscopía electrónica de barrido, revelando superficies porosas donde el quitosano se adhería. Para la formación del biocompuesto, utilizó concentraciones de cascarilla de arroz de 10, 20, 30, 40 y 50 g.L⁻¹. En los experimentos de adsorción de Cromo (VI) con el biocompuesto de cascarilla de arroz y quitosano, evaluó el tiempo de contacto, logrando un porcentaje de remoción de 68,28% al minuto 120. Asimismo, se analizaron variables como el pH, la concentración inicial de Cromo (VI) y la temperatura para determinar su influencia en la capacidad adsorbente del biocompuesto [39]

En la tesis “*Evaluación de concentración del quitosano extraído del exoesqueleto Emerita análoga para adsorción de plomo en aguas contaminadas del Río Coata (Puno)*”, tuvo como objetivo elaborar quitosano a partir del exoesqueleto de Emerita analoga, determinar sus características, así como medir las concentraciones inicial y final de plomo en el agua, y establecer la concentración y el tiempo óptimos para la reducción de plomo. En cuanto a la metodología, el estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. El quitosano se extrajo mediante los procesos de desproteínización, desmineralización, decoloración y desacetilación, utilizando Hidróxido de Sodio (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl). Obtuvieron un quitosano con un grado de desacetilación del 82%, lo cual fue verificado en el laboratorio. Posteriormente, prepararon tres muestras de quitosano de 7 g, 14 g y 21 g, que fueron sometidas a seis tiempos diferentes de contacto para analizar su eficacia en la adsorción de plomo. Los resultados mostraron que la concentración más eficiente fue la de 21 gramos de quitosano, con un tiempo de contacto de 60 minutos, logrando una reducción del 99,80% en la concentración de plomo (II) en el agua. Además, se registró una adsorción del 99,99% de plomo en el quitosano, lo que indica una altísima eficiencia del material como adsorbente. Las conclusiones indicaron que el quitosano extraído del exoesqueleto de *Emerita analoga* es altamente eficiente en la remoción de plomo (II) en soluciones acuosas, especialmente con una concentración de 21 g y un tiempo de contacto de 60 minutos. Estos resultados sugieren que el quitosano puede ser utilizado como un método viable y económico para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados [40].

En la tesis “*Estudio de evaluación de adsorbentes (Quitina y Quitosano) para la remoción de las aguas con contenido de metales pesados*”, el objetivo de esta investigación fue evaluar la viabilidad de escalar el proceso de adsorción a un diseño de planta piloto utilizando polímeros como adsorbentes para la remoción de metales pesados. La metodología incluyó el uso de quitina y quitosano, polímeros obtenidos de residuos industriales, bajo condiciones controladas de laboratorio. Analizaron la eficacia de la remediación mediante adsorción, considerando factores como la solubilidad y especiación de los metales. Los resultados mostraron que el quitosano presentó un rendimiento de adsorción superior al de la quitina, alcanzando un 79% de adsorción de manganeso, en comparación con el 51% de la quitina, y un ligero aumento del 2% en la remoción de Cu, Zn y Al. Estos hallazgos confirman que el quitosano es un adsorbente altamente eficaz para la eliminación de metales pesados, sugiriendo su potencial aplicación en procesos de tratamiento de aguas a mayor escala [41]

En la tesis “*Adsorción de plomo en aguas subterráneas del distrito de Mórrope utilizando quitosano obtenido del exoesqueleto de langostino*”, su objetivo fue determinar la eficiencia de adsorción de plomo en aguas subterráneas del distrito de Mórrope, empleando quitosano obtenido del exoesqueleto de langostino. La metodología utilizada incluyó la selección de una muestra de 28 litros de agua subterránea del Centro Poblado Los Positos, la cual fue enriquecida artificialmente con $Pb(NO_3)_2$ para alcanzar una concentración de 2,4549 mg Pb/l, porque la concentración inicial de plomo era de 0,001 mg Pb/L. El quitosano fue preparado mediante un proceso de desmineralización con HCl 1M, desproteinización con NaOH 1M y desacetilación de dos masas de quitina con NaOH al 50% y 70%, respectivamente. Luego, se caracterizó el quitosano por titulación potenciométrica, obteniendo grados de desacetilación de 66,05% y 84,97%. Los ensayos de adsorción se realizaron bajo combinaciones de tres valores de pH (4,5; 5,25 y 6,3) y tres concentración de quitosano (1,5 g, 2,0 g y 2,5 g) en 700 mL de solución, con una agitación constante de 200 RPM y un tiempo de contacto de 60 minutos. Los resultados más significativos obtuvieron utilizando 2,5 g de quitosano, logrando eficiencias de adsorción de 94,66%, 72,23% y 84,16% para los valores de pH mencionados. En conclusión, el

quitosano obtenido del exoesqueleto de langostino mostró una alta eficiencia en la adsorción de plomo, alcanzando los mejores resultados a pH 4,5 con una concentración de 2,5 g. Estos resultados sugieren que el quitosano es una opción viable para la remoción de plomo en aguas subterráneas bajo las condiciones experimentales evaluadas [42]

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La adsorción

La adsorción es un proceso físico-químico mediante el cual los átomos, iones o moléculas de un gas, líquido o sólido se adhieren a una superficie sólida o líquida. Este fenómeno ocurre en una interfaz y puede tener lugar a través de interacciones físicas o químicas entre el adsorbato (la sustancia adsorbida) y el adsorbente (el material en el que ocurre la adsorción) [43]

a) Factores que influyen la adsorción.– Los principales factores que inciden en el proceso de biosorción incluyen la concentración inicial de iones metálicos, la temperatura, el pH y la cantidad de biomasa presente en la solución [44]. El fenómeno de adsorción puede verse afectado tanto positiva como negativamente por diversos parámetros fisicoquímicos, tales como el pH, el tamaño de las partículas y la presencia de otros iones [45]

Influencia de la temperatura

La temperatura en el rango de 20°C a 35°C no tiene un impacto significativo en el proceso de adsorción; sin embargo, cuando la temperatura se eleva a 50°C, la capacidad de adsorción del biomaterial puede aumentar. No obstante, en ciertos casos, temperaturas más altas pueden dañar las células microbianas, lo que reduce su eficacia en la adsorción de iones metálicos [46]

Influencia del pH

El pH afecta tanto la naturaleza de los sitios de unión en la biomasa como la química de los metales en solución, la actividad de los grupos funcionales en la biomasa y la competencia entre iones metálicos. En general, la capacidad de adsorción de metales pesados disminuye considerablemente cuando el pH baja de 6,0 a 2,5 [46]

Influencia del tamaño del absorbente

La disminución del tamaño de partícula del absorbente favorece la capacidad de adsorción, porque se incrementa el área superficial disponible para la adsorción [46]

- b) Adsorbentes industriales.**– Los materiales adsorbentes se seleccionan en función de sus propiedades físicas y químicas, como el área superficial, la porosidad, la afinidad química y su capacidad de regeneración. Dependiendo de su origen y características, se pueden clasificar en varias categorías que incluyen materiales naturales, sintéticos, y materiales avanzados [47]. A continuación, se describen los más importantes.

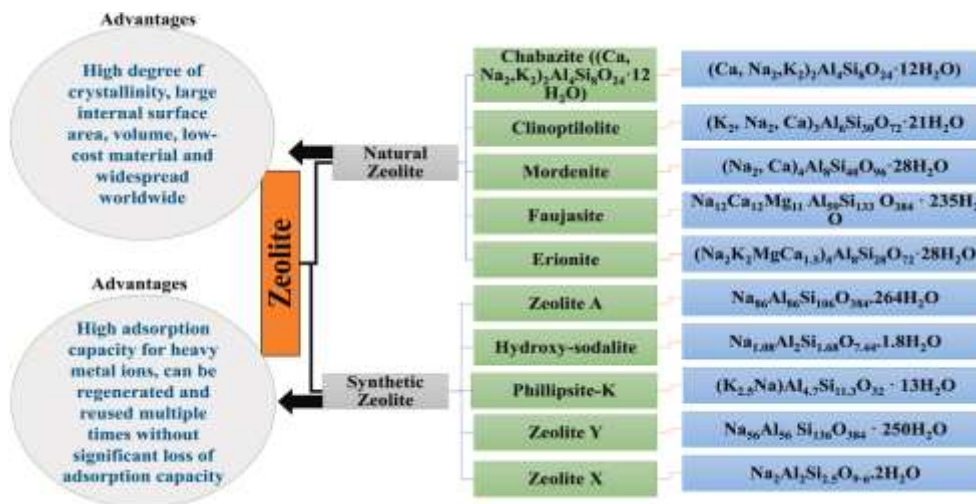
Carbón activado

El carbón activado es uno de los adsorbentes más utilizados debido a su gran área superficial, alta porosidad y bajo costo. Se fabrica mediante la carbonización de materiales ricos en carbono seguido de un proceso de activación que aumenta su porosidad. Esto le otorga una capacidad excepcional para adsorber contaminantes orgánicos e inorgánicos, lo que lo convierte en un material clave en la purificación de agua, tratamiento de aire y procesos de descontaminación industrial [48]

Zeolitas

Las zeolitas naturales son minerales de aluminosilicato hidratados y porosos que poseen cualidades fisicoquímicas útiles, como sorción, tamizado molecular, intercambio de cationes y catálisis. Debido a sus características y su amplia distribución, las zeolitas se están convirtiendo en temas cada vez más interesantes para la investigación medioambiental [49]. En la **Figura 1 (Ver pag. N° 26)** se muestra una clasificación de los diferentes tipos de Zeolita y sus ventajas.

Figura 1
Clasificación de diferentes tipos de zeolitas y sus ventajas



Kumari (2024)

Los materiales porosos derivados de las zeolitas se sintetizan a menudo mediante técnicas solvotermales o hidrotérmicas, el método sol-gel y el método de fusión alcalina, empleando disolventes orgánicos o acuosos y operando dentro de un rango de temperatura de temperatura ambiente a 200°C. El tiempo de respuesta puede variar desde unas pocas horas hasta varios días, dependiendo de los resultados previstos [50]

Nanomateriales

Los nanomateriales adsorbentes, como el grafeno, los nanotubos de carbono y las nanopartículas metálicas, han demostrado un gran potencial en la adsorción de contaminantes debido a su inmensa área superficial y propiedades electrónicas únicas. Los nanotubos de carbono, por ejemplo, tienen una capacidad de adsorción mucho mayor que los materiales convencionales debido a su estructura cilíndrica con paredes muy delgadas [51]

Biomateriales

Los biomateriales adsorbentes se derivan de fuentes naturales, como residuos agrícolas o algas, y han emergido como alternativas sostenibles y

de bajo costo para la adsorción de contaminantes. Estos materiales presentan una alta afinidad por los metales pesados, lo que los hace particularmente útiles en el tratamiento de aguas contaminadas. Los adsorbentes basados en biomateriales, como las cáscaras de arroz, cáscaras de coco, o bagazo de caña, son renovables, biodegradables y tienen la ventaja de estar disponibles en grandes cantidades. [52].

Materiales híbridos

Recientemente, los materiales híbridos, que combinan propiedades de diferentes adsorbentes (como el carbón activado funcionalizado con nanopartículas o las zeolitas impregnadas con metales), han surgido como una nueva categoría de adsorbentes con capacidades superiores [53]. Estos materiales son diseñados para mejorar la selectividad, la capacidad de adsorción y la regenerabilidad. Por ejemplo, la incorporación de nanopartículas de hierro en materiales porosos mejora su capacidad para adsorber contaminantes específicos como arsénico y cromo. Estos materiales híbridos ofrecen un enfoque flexible y eficaz para abordar problemas ambientales complejos, aunque su producción y optimización aún enfrentan desafíos tecnológicos y económicos [54]

- c) **Tipos de adsorción.**– Existen dos principales formas de adsorción: la adsorción física y la adsorción química, cada una de ellas con diferentes características que permiten una diferenciación en cada caso.

Adsorción física (fisisorción)

La fisisorción ocurre debido a las fuerzas de Van der Waals que se generan entre un átomo o molécula y la superficie de un material. Este tipo de adsorción, conocida también como adsorción física, se caracteriza porque no altera la estructura interna de la molécula adsorbida [55]

Adsorción química (quimisorción)

La quimisorción tiene lugar cuando una molécula, con afinidad por los sitios activos de un sólido, se aproxima lo suficiente para provocar un reordenamiento electrónico similar al de una reacción química. Esto da como resultado una fijación permanente de la molécula en la superficie a través de un enlace químico, lo que se conoce como adsorción química [55]. En la

Tabla 1 se presenta una comparación de las características de los dos tipos de adsorción.

Tabla 1
Comparación de la adsorción física y química

Característica	Adsorción Física (Fisisorción)	Adsorción Química (Quimisorción)
Tipo de interacción	Débil (Fuerzas de Van der Waals)	Fuerte (Enlaces químicos)
Energía de adsorción	Baja (20 – 40 kJ/mol)	Alta (50 – 100 kJ/mol)
Identidad química del adsorbato	Se mantiene sin cambios	Se altera debido a la interacción química
Especificidad	Baja (poco específica)	Alta (muy específica)
Equilibrio	Reversible	Irreversible
Capas formadas	Múltiples capas posibles	Solo una capa (monocapa)
Dependencia de la temperatura	Favorecida a bajas temperaturas	Favorecida a altas temperaturas
Velocidad de adsorción	Rápida	Lenta (dependiendo de la activación)
Aplicaciones comunes	Filtración de gases, purificación de líquidos	Catálisis, reacciones superficiales

Delgado (2021)

d) Isotermas de Adsorción.– Las curvas experimentales conocidas como isotermas de adsorción muestran la cantidad de adsorbato por unidad de masa de adsorbente (q_e en mg/g) a una temperatura determinada. Estas curvas ilustran la concentración de adsorbato que permanece en la fase fluida una vez alcanzado el equilibrio de adsorción (C_e en g/L) [56]. Las isotermas, dadas como ecuaciones matemáticas, tienen como objetivo caracterizar el proceso de adsorción. Estas entidades indican ciertos mecanismos como la adsorción monocapa o multicapa y la interacción lateral entre moléculas [57]

Isoterma de Langmuir

La isoterma de Langmuir es uno de los modelos más clásicos para describir la adsorción, desarrollada originalmente para procesos en superficies sólidas homogéneas. Este modelo supone que la adsorción ocurre en sitios

específicos de la superficie del adsorbente, donde cada sitio solo puede ser ocupado por una molécula de adsorbato, formando una monocapa. Además, se asume que todos los sitios de adsorción tienen la misma energía y que no hay interacción entre las moléculas adsorbidas [58]. La ecuación de la isoterma de Langmuir puede expresarse como:

$$q_e = \frac{q_m K C_e}{1 + K C_e} \quad (1)$$

donde q_e es la cantidad de adsorbato por unidad de adsorbente en equilibrio, q_m es la capacidad máxima de adsorción (cantidad total que puede adsorberse en una monocapa), K es la constante de equilibrio de adsorción y C_e es la concentración del adsorbato en la fase líquida en equilibrio. Este modelo es ampliamente utilizado en procesos industriales donde la eficiencia de adsorción es fundamental.

Isoterma de Freundlich

La isoterma de Freundlich, en contraste, es un modelo empírico que se utiliza para describir la adsorción en superficies heterogéneas, donde los sitios de adsorción tienen diferentes energías de adsorción [59]. A diferencia de la isoterma de Langmuir, este modelo no asume la formación de una monocapa, sino que permite la adsorción continua, incluso cuando aumenta la concentración del adsorbato. La ecuación de Freundlich se expresa como:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (2)$$

donde K_f y n son constantes empíricas que varían según la naturaleza del adsorbente y el adsorbato. Este modelo se ajusta mejor a sistemas complejos donde la capacidad de adsorción no es limitada, como en el caso de la purificación de aguas contaminadas con metales pesados, en los que los sitios de adsorción no son uniformes.

Isoterma de BET

La isoterma BET (Brunauer, Emmett y Teller) extiende el concepto de la isoterma de Langmuir para describir la formación de múltiples capas de adsorbato sobre la superficie del adsorbente. A diferencia de Langmuir, que se limita a una monocapa, BET asume que las moléculas adsorbidas pueden actuar como sitios para la adsorción de más moléculas, lo que da lugar a la

formación de capas sucesivas. Este modelo es especialmente útil en la caracterización de superficies porosas, como catalizadores y materiales porosos, donde la capacidad de adsorción varía en función de las múltiples capas [60]. La ecuación BET es una generalización del modelo de Langmuir y se expresa como:

$$q_e = \frac{q_m C_e}{(C_s - C_e)(1 + (K-1)C_e/C_s)} \quad (3)$$

donde C_s es la presión de saturación y q_m es la cantidad de adsorbato en la monocapa.

- e) Cinética de Adsorción.**– La importancia de la cinética de adsorción radica en su capacidad de predecir cómo disminuirá la concentración de adsorbato con el tiempo cuando dos sustancias entran en contacto, destacando la importancia de comprender estas dinámicas para maximizar la eficiencia del adsorbente e identificar áreas de mejora potenciales [61]. Muchas variables, como las características del adsorbente, las propiedades del adsorbato y la velocidad de agitación, afectan la velocidad de adsorción del soluto. Por lo tanto, es fundamental estudiar la velocidad y el proceso a través del cual los materiales eliminan el contaminante. En la literatura se dispone de tres modelos cinéticos para evaluar los parámetros de adsorción [62]

Modelo de pseudo – primer orden

Este modelo, propuesto por Lagergren en 1898, supone que la velocidad de adsorción es directamente proporcional al número de sitios vacíos en la superficie del adsorbente. Este modelo se utiliza frecuentemente cuando la adsorción es un proceso de primer orden respecto al adsorbato, lo que significa que el cambio en la concentración de adsorbato en la fase líquida o gaseosa influye linealmente en la cantidad adsorbida [63]. Matemáticamente, se describe por la siguiente ecuación:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (4)$$

donde k_1 es la constante de velocidad de adsorción de pseudo–primer orden, q_e es la cantidad de adsorbato adsorbido en equilibrio, y q_t es la cantidad de adsorbato adsorbido en el tiempo t . Este modelo es útil cuando la adsorción

ocurre rápidamente en los primeros momentos del proceso y se estabiliza conforme los sitios activos se ocupan.

Modelo de pseudo – segundo orden

Propuesto por Ho y McKay en 1999, este modelo se basa en la suposición de que la velocidad de adsorción es proporcional al cuadrado de la cantidad de adsorbato disponible en los sitios de adsorción. El modelo es adecuado para sistemas donde la adsorción sigue un proceso de segundo orden, es decir, la velocidad de adsorción depende tanto de la concentración del adsorbato como de la cantidad adsorbida [64]. La ecuación correspondiente es:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

donde k_2 es la constante de velocidad de pseudo–segundo orden. Este modelo se utiliza para describir procesos donde el control de la velocidad se debe a la interacción química entre el adsorbato y los sitios del adsorbente, lo que hace que la adsorción sea más específica y selectiva en comparación con el modelo de primer orden. En muchos casos, el modelo de pseudo–segundo orden ofrece un mejor ajuste a los datos experimentales, especialmente en sistemas donde la adsorción es más lenta y controlada por reacciones químicas en la superficie del adsorbente.

Modelo de difusión intraparticular

Este modelo, descrito por Weber y Morris en 1963, se refiere a la fase del proceso de adsorción en la que la difusión del adsorbato ocurre dentro de las partículas del adsorbente. Este fenómeno es particularmente importante en adsorbentes porosos o de gran tamaño, donde el transporte del adsorbato a través de los poros puede convertirse en el factor limitante en la velocidad de adsorción. El modelo de difusión intraparticular se describe con la ecuación:

$$qt = k_{int}t^{1/2} + C \quad (6)$$

donde k_{int} es la constante de velocidad de difusión intraparticular y C es un parámetro que representa la resistencia inicial a la adsorción en la superficie externa del adsorbente. Si la adsorción está controlada completamente por la difusión intraparticular, una representación gráfica de qt frente a $t^{1/2}$

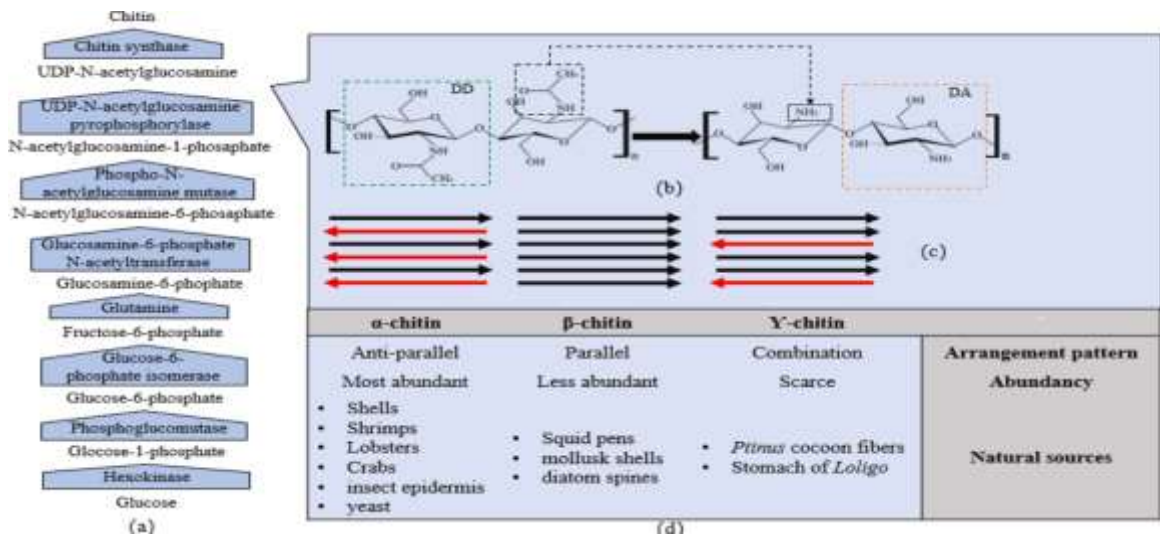
producirá una línea recta. Este modelo es clave en procesos donde se requiere analizar el transporte de adsorbato en medios con estructuras microporosas o mesoporosas, como los carbones activados o la zeolita.

2.2.2. Quitina y quitosano

La quitina y el quitosano son un tipo de polisacáridos que se encuentran en abundancia en diversas fuentes marinas [65]

La quitina es un polímero compuesto por unidades de N – acetilglucosamina unidas por enlaces $\beta,1-4$ y es un biopolímero complejo. Está presente en los exoesqueletos de los artrópodos, así como de los crustáceos como cangrejos, langostas y camarones, y también puede derivar de nematodos y hongos [66]. En la **Figura 2** se muestra las fuentes de quitina, clasificación, biosíntesis y transformación del quitosano.

Figura 2
Fuentes de quitina, clasificación, biosíntesis y transformación del quitosano



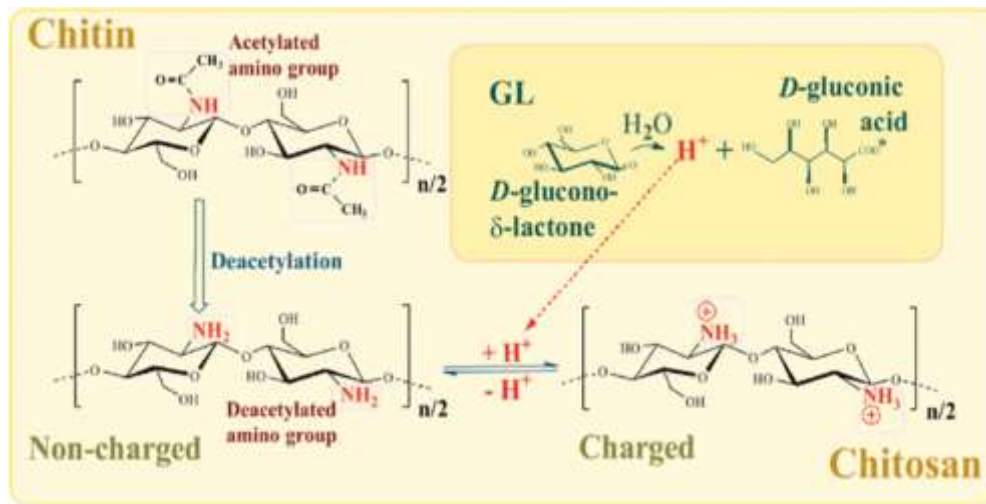
Joseph (2021)

Es insoluble en agua y a menudo se transforma en carboximetilquitosano (soluble en soluciones alcalinas y ácidas), quitosano y otros derivados del quitosano (solubles en condiciones ácidas). La quitina extraída de los desechos del procesamiento de la langosta se utiliza de diversas maneras en los campos

de la alimentación, la atención sanitaria, la agricultura, los productos farmacéuticos y la biomedicina.

El quitosano es un polímero lineal derivado de la quitina a través del proceso de desacetilación, que está compuesto tanto de N-acetil-D-glucosamina (unidad acetilada) como de residuos de D-glucosamina (forma desacetilada). El quitosano contiene grupos amina que son sensibles al pH, lo que lo hace neutro en el pH alcalino y cargado positivamente en el pH ácido. El quitosano se utiliza en la preparación de perlas, microcápsulas, microesferas y nanopartículas para su uso en sistemas de administración de fármacos de liberación sostenible. Tanto los derivados de quitina como de quitosano tienen gran importancia en el campo biomédico porque son compuestos biocompatibles y no tóxicos y sus derivados también pueden estar disponibles en forma de hidrogeles, andamios y esponjas [67]. En la **Figura 3** se muestra la estructura de la quitina y del quitosano.

Figura 3
Estructura de la quitina y del quitosano



Basem (2024)

a) Propiedades y aplicaciones del quitosano.– El quitosano se caracteriza por su capacidad de expansión y elasticidad, además de ser biocompatible, biodegradable y eficaz en la purificación biológica del entorno. Entre sus propiedades más destacadas se encuentran su actividad antiviral y antibacteriana, su no toxicidad y ausencia de efectos alérgicos, lo que lo hace ideal para aplicaciones médicas y ambientales. También puede formar complejos con iones metálicos y carbonos aromáticos, lo que amplía su versatilidad en la adsorción de contaminantes. Además, presenta propiedades gelificantes y espesantes, es súper absorbente, y tiene un alto poder de adsorción de materiales coloreados. Estas características lo hacen adecuado para su conversión en una variedad de materiales y derivados útiles en diversas industrias [68].

b) Quitosano como coagulante.– El quitosano mejora su eficacia como coagulante y floculante de partículas suspendidas y coloidales, así como en la adsorción de iones disueltos, cuando se disuelve en una solución ácida o con ciertos disolventes. Comparado con los coagulantes tradicionales basados en sales metálicas, el uso de quitosano ofrece varias ventajas: reduce los riesgos asociados a los residuos de aluminio y polímeros sintéticos, produce lodos biodegradables, disminuye el volumen de lodos, facilita la separación de metales pesados y iones metálicos solubles, y requiere menos productos químicos para ajustar el pH [69]

Además, el quitosano ayuda a evitar el crecimiento de bacterias y hongos, y se puede obtener a partir de desechos de productos marinos, lo que lo hace una opción más sostenible. Su principal mecanismo de acción es aumentar el tamaño y peso de las partículas suspendidas en el agua, facilitando su sedimentación o filtrado. Esta propiedad ha sido muy valorada en el tratamiento de aguas provenientes de inundaciones, donde el uso de filtros de quitosano y arena puede reducir la turbidez a niveles de un solo dígito, permitiendo la descarga segura de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales. Además, el quitosano es seguro para la vida acuática, porque es no tóxico a niveles normales de purificación, presentando una tasa de mortalidad prácticamente despreciable. Sin embargo, su eficacia óptima se

logra en un rango de pH entre 5,6 y 8,5; por lo que puede ser necesario ajustar el pH del agua fuera de estos límites. Asimismo, la temperatura del agua debe ser superior a 3,3°C para asegurar una adecuada sedimentación por gravedad [70]

Transformación y formación del quitosano

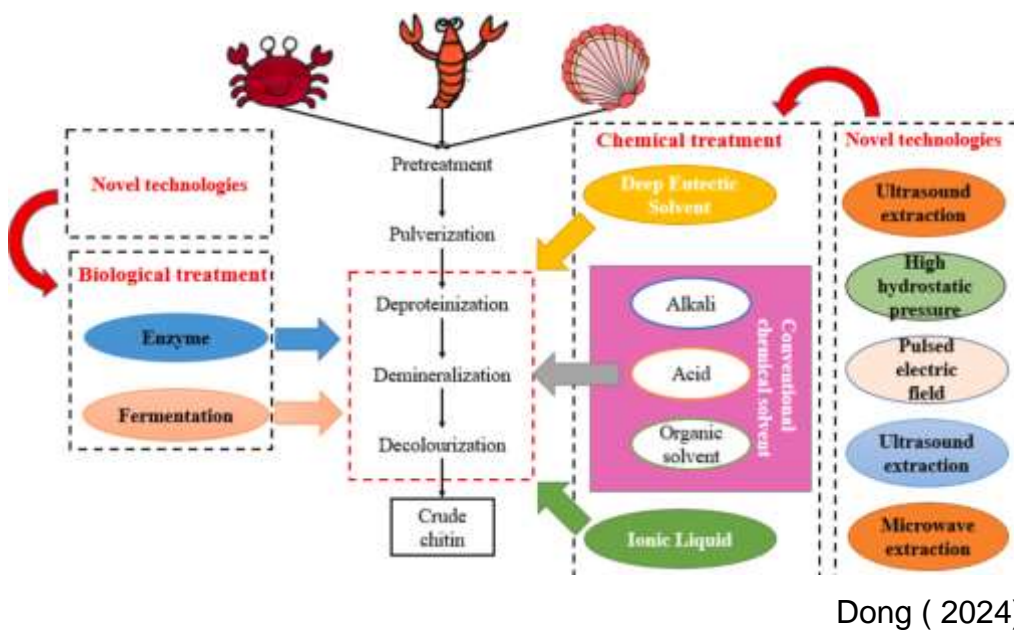
El quitosano se obtiene a partir de la quitina mediante un proceso de desacetilación, el cual implica un tratamiento alcalino que convierte la quitina en un monómero con un grupo amino conocido como β -1,4-d-glucosamina. La presencia de estos grupos amino es crucial, porque determinan la viscosidad, solubilidad y actividad biológica del quitosano, lo que ha permitido su uso en aplicaciones antibacterianas [71], como bioadsorbente [72] y en nanomedicina [73]. Ni la quitina ni el quitosano existen como polímeros puros de un solo monómero, sino que consisten en mezclas de unidades acetiladas y des-acetiladas. La proporción de monómeros acetilados, conocida como el grado de acetilación (DA), y el porcentaje de desacetilación (DD) son claves para diferenciar entre ambos. Aunque el límite exacto entre quitina y quitosano no está claramente definido, el grado de desacetilación se sitúa generalmente entre el 40% y el 75% [74]. Además del DD, el peso molecular también es un factor determinante en la biofuncionalidad del quitosano.

Técnicas de extracción de quitina y quitosano

Las corrientes laterales de los crustáceos están compuestas principalmente por tres componentes: 20%–30% de quitina, 30%–40% de proteínas y 30%–50% de carbonato de calcio (CaCO_3) [75]. Generalmente, la extracción y purificación de la quitina, según sus componentes químicos, involucra dos pasos esenciales: desproteínización y desmineralización, además de un paso opcional de decoloración. El proceso de separación y purificación de la quitina se ilustra en la **Figura 2 (Ver pag. N° 32)**. Los estudios existentes se han centrado principalmente en dos enfoques tecnológicos: tratamiento químico (con álcali/ácido, convencionales, disolventes eutécticos profundos y líquidos iónicos) y tratamiento biológico (reacciones enzimáticas y fermentación microbiana). La innovación actual radica en la integración

de tecnologías no térmicas (como UAE, MAE, tecnología de plasma, agua subcrítica y supercrítica, PEF, HHP y extracción electroquímica), que pueden mejorar los procesos de desproteinización y desmineralización cuando se combinan con tratamientos químicos y biológicos [76]. En la **Figura 4** se muestra el proceso de obtención de quitina.

Figura 4
Estructura y proceso de recuperación de quitina



2.2.3. El quitosano en la remoción de metales

El quitosano, un derivado del glucano compuesto por unidades repetitivas de quitina, es uno de los polímeros naturales más abundantes, solo superado por la celulosa. Tanto la quitina como su versión acetilada (quitosano) han sido utilizados por más de 200 años. Estos polímeros nitrogenados se encuentran en diversas fuentes naturales como la piel de insectos, la pared celular de los hongos y los caparzones de crustáceos. El quitosano es un polisacárido blanco, duro y no elástico que se obtiene a partir de la desacetilación de la quitina en condiciones alcalinas o mediante hidrólisis enzimática. Además, es el único polímero catiónico en su tipo, con propiedades destacadas como biocompatibilidad, acción antibacteriana, antiviral, no tóxico, no alérgico, y

formador de películas elásticas. Estas características lo hacen ideal para múltiples aplicaciones, como en la producción de nanofibras [68]

El quitosano forma una película resistente, impermeable y con efectos antimicrobianos y antioxidantes, lo que incrementa su interés en sectores como la adsorción de metales pesados (zinc, plomo, mercurio, uranio), colorantes, aminoácidos, y contaminantes como policlorobifenilos. También es eficaz en la remediación de materiales radiactivos, petróleo, y otras sustancias tóxicas. Por su naturaleza catiónica, el quitosano puede coagular y precipitar partículas cargadas negativamente, mejorando la eficiencia en procesos de tratamiento de aguas y reduciendo significativamente olores y sabores. Estas propiedades lo convierten en un material clave para aplicaciones medioambientales y biotecnológicas [68]. Adsorción de metales pesados de aguas residuales mediante quitosano

a) Efecto del pH sobre la adsorción.– El pH de la solución juega un papel crucial en el proceso de adsorción de iones metálicos, porque afecta tanto la carga superficial del adsorbente como el grado de ionización de las partículas metálicas en la solución acuosa. A niveles de pH más altos, la desprotonación de los sitios activos del adsorbente reduce las fuerzas electrostáticas, lo que facilita la adsorción al aumentar la carga negativa en la superficie, mejorando las interacciones con los cationes metálicos [77]. Por el contrario, en medios ácidos (pH bajo), la competencia de los iones H^+ y H_3O^+ por los sitios de adsorción provoca una disminución de la eficiencia, porque la repulsión electrostática entre las partículas metálicas y los sitios adsorbentes cargados positivamente limita la adsorción [78]. Algunos estudios han mostrado que la adsorción de metales como $Pb(II)$ y $Cu(II)$ es más eficiente en un pH de aproximadamente 6,0; mientras que disminuye significativamente a pH entre 2,0 y 4,0 [79]. De forma similar, la adsorción de $Cd(II)$ aumenta al elevar el pH de 4,0 a 6,0; manteniéndose estable (97%) hasta pH 9,0, pero disminuyendo al 80% al alcanzar un pH de 11,0 [80]

- b) Efecto del tiempo de contacto.**— Se observó que la tasa de adsorción aumentó a medida que avanzaba el tiempo, hasta alcanzar un equilibrio entre la cantidad de sorbato adsorbido en el adsorbente y la cantidad que permanecía en la solución. En términos generales, la adsorción ocurrió rápidamente en las primeras etapas del proceso y luego se fue estabilizando conforme se alcanzaba el equilibrio entre el metal presente en las fases líquida y sólida. El tiempo necesario para alcanzar dicho equilibrio varió según la concentración de las partículas metálicas, la cantidad de adsorbente, la concentración inicial del sorbato y la temperatura de la solución [68]
- c) Efecto de la concentración de adsorbente.**— La cantidad de adsorbente es otro factor crítico a la hora de garantizar la eficacia de la extracción del adsorbente. Con un aumento de la cantidad de adsorbente, aumenta la tasa de extracción de metales. Esto puede deberse a la proximidad del espacio de sorción, al que se unirá el adsorbato. La garantía de la dosificación del adsorbente da una idea de la cantidad mínima de adsorbente necesaria para el proceso de sorción [68]

2.2.4. Manganeso

El nombre del manganeso proviene del latín "magnes" (imán), debido a las propiedades magnéticas de los minerales de pirolusita, un dióxido de manganeso.

El manganeso no se encuentra en su forma pura en la naturaleza, sino combinado con otros elementos como oxígeno, azufre y cloro [82] Es un metal blanco grisáceo, duro, brillante, maleable y frágil, altamente reactivo y alotrópico. Como metal de transición, rara vez se usa en su forma pura debido a su facilidad para quebrarse, por lo que se emplea en aleaciones como el acero. Se encuentra en el período 4 y grupo VIIB de la tabla periódica, con número atómico 25 y masa atómica de 54,938 g/mol. Presenta diversos estados de oxidación, y según [83] los óxidos, carbonatos y silicatos son las formas más importantes de los minerales que contienen manganeso.

El manganeso metálico se oxida superficialmente al aire, forma óxidos en ambientes húmedos y se quema en aire u oxígeno a altas temperaturas.

Constituye el 1% de la corteza terrestre, ocupando el 12º lugar entre los elementos presentes en ella. Se encuentra en muchos yacimientos terrestres, siendo los principales en Australia, Sudáfrica, China, Gabón y Brasil. En estos yacimientos, el manganeso se encuentra principalmente como dióxido de manganeso (MnO₂) o pirolusita, y también en minerales como romanechita, manganita, hausmanita y rodocrosita (MnCO₃) [84]

En la **Tabla 2** se presentan datos importantes sobre el manganeso, su relación con la contaminación, toxicidad y riesgos.

Tabla 2.
Riesgos y límites de exposición del manganeso

Manganeso	
Contaminación en aguas	WGK 2: sustancia contaminante del agua.
<i>Información toxicológica</i>	
Toxicidad aguda/ Categoría 4*	Cutánea y oral.
Corrosión o irritación/ Categoría 2*	Cutánea y oral.
Toxicidad específica/ Categoría 3*	En determinados órganos por exposición única.
<i>Límites de exposición y ambientales (Villanueva&Requena,2007)</i>	
TLV para polvos	5mg/m ³
TWA para humos	1mg/ m ³
TWA partículas respirables	0,3mg/ m ³
Aire de regiones contaminadas	0,5 ug/ m ³
Agua de océanos	2 ug/L
Agua Potable	Tolerables hasta 0,1 mg/L
Suelo	500–900 mg/Kg
<i>Frases H</i>	<i>Frases P</i>
H315: Provoca Irritación Cutánea.	P301+P330+P331: En caso de ingestión enjuagar y no provocar vómito.
H319: Provoca irritación ocular grave.	P312: Contactar centro de información toxicológica o médico en caso de malestar
H335: Puede Irritar las vías respiratorias.	P302+P352: En contacto con la piel, lavar con abundante agua y jabón.
H302+H312: Nocivo en caso de ingestión o en contacto con la piel.	P337+P313: Consultar a un médico en caso de persistencia de irritación ocular.
	P304+P340: Si se inhala, dirigirse al exterior y mantener reposo.
	P280: Llevar protección corporal.
	P332+P313: Consultar a un médico por irritación cutánea.

Lamprea y Moreno (2022)

El manganeso tiene una amplia distribución natural, constituyendo el 0,095 % de la corteza terrestre. No se encuentra en forma metálica libre, sino en diversas formas compuestas, siendo más comunes los óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos. El manganeso es una sustancia que se encuentra de forma natural en el ambiente. Es un mineral abundante en la corteza terrestre y forma parte de más de cien sales minerales presentes en piedras, suelos y en el fondo de lagos y océanos. Aunque se encuentra más comúnmente como un óxido, también puede presentarse como un silicato de carbono. Además, está presente en animales y plantas, lo que significa que puede encontrarse en los alimentos que consumimos. Las concentraciones de manganeso en el aire son de aproximadamente 5 ng/m³ en zonas no industrializadas, y pueden aumentar a alrededor de 33 ng/m³ en áreas industrializadas. En entornos industriales cerrados, la concentración de manganeso en el aire puede ser de 0,13 µg/m³ o más [85] Estas consideraciones destacan la importancia de conocer la historia y las propiedades del manganeso, porque es un elemento que puede ser nocivo para la salud y el medio ambiente.

Propiedades físicas y químicas del manganeso

El manganeso tiene múltiples aplicaciones. El dióxido de manganeso (MnO₂) se utiliza como reactivo en diversos procesos, incluyendo la aceleración o desaceleración de reacciones en esmaltes y barnices, así como en el blanqueamiento y en la fabricación de baterías. Por otro lado, el permanganato de potasio se emplea para eliminar pinturas, actúa como agente oxidante en la química analítica y tiene otras aplicaciones especializadas [86]. En la **Tabla 3 (Ver pag. Nº 41)** se muestra las físicas y químicas del Manganeso.

2.3. Marco conceptual

2.3.1 Residuos de caparazones de crustáceos como fuente potencial de compuestos bioactivos en el agua

Los desechos procesados de caparazones de crustáceos como langostas, krill, camarones y cangrejo, así como subproductos del procesamiento de mariscos, incluyendo proteínas, aceites, quitina, quitosano, colágeno, gelatina, hidroxiapatita, proteínas anticongelantes, astaxantina y enzimas [67]. De manera similar, los desechos de camarones contienen quitina, quitosano, minerales

(calcio, fósforo, selenio, cobre, zinc y yodo), proteínas, enzimas, lípidos (ácidos grasos omega-3), vitaminas y carotenoides [81]

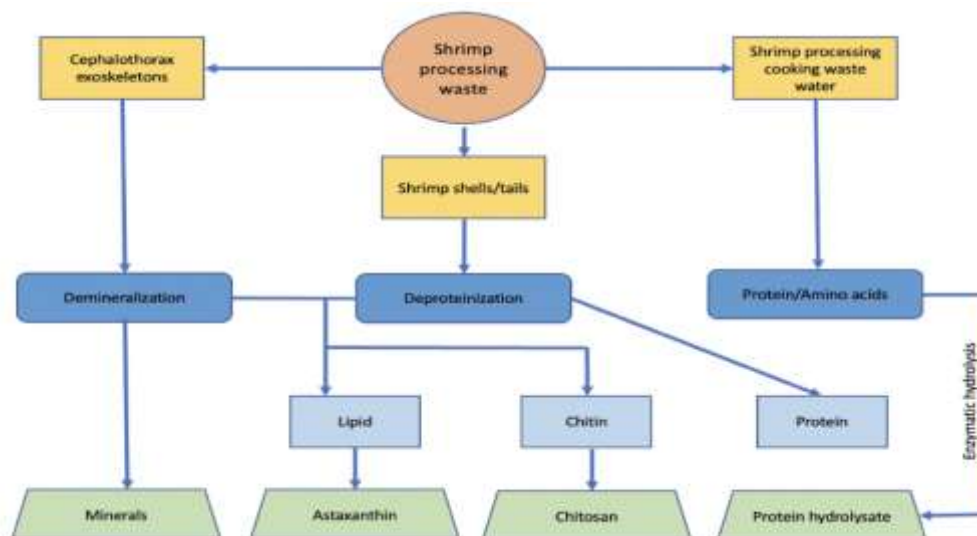
Tabla 3
Propiedades Físicas–Químicas de Mn

Nombre:	Manganeso
Número atómico:	25,000
Valencia:	2,3,4,6,7
Masa atómica (g/mol):	54,938
Densidad (g/mL)	7,430
Punto de ebullición (°C):	2,150
Punto de fusión (°C):	1,245
Color:	Negro
Raya:	Negra
Brillo:	Metálico o Metaloides

Lazo (2012)

Estos desechos de caparzones de crustáceos también proporcionan astaxantina, un carotenoide con altos niveles de antioxidantes, además de ácidos grasos omega-3 y oligómeros de quitina, que poseen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes [82]

Figura 5
Recuperación de compuestos bioactivos de los desechos del procesamiento del camarón



Wan (2023)

El uso de procesos enzimáticos en el tratamiento de estos residuos promueve una economía circular, favoreciendo el desarrollo sostenible en el procesamiento del camarón. Entre los compuestos predominantes recuperados de las conchas de crustáceos se encuentran calcio (~20%–50%), proteínas (~20%–40%), quitina (~15%–40%), lípidos (~0%–15%) y carotenoides [83]. La siguiente Figura resume los compuestos bioactivos predominantes recuperados de los desechos del procesamiento del camarón [84]

2.3.2 Manganese en el agua

El manganeso se introduce naturalmente en las aguas a partir de las rocas y los suelos, y puede encontrarse tanto disuelto como en forma de material particulado. A medida que aumenta el pH en el medio acuático, las formas predominantes de manganeso son Mn^{2+} , $MnCO_3(s)$, $MnO_2(s)$ y $MnS(s)$, mientras que las formas como carbonatos ácidos, sulfatos y cloruros son menos comunes [87]

La química del manganeso en el agua es compleja y su movilidad está fuertemente influenciada por el pH y el potencial redox. El manganeso no disuelto puede asociarse con materia orgánica o con otros metales. Cuando el potencial redox disminuye lo suficiente, el manganeso en estados de oxidación +3 o +4 se reduce a su estado de oxidación +2, que es más soluble en agua.

La variedad de estados de oxidación del manganeso lo convierte en uno de los pocos elementos que juegan un papel predominante en los procesos de óxido-reducción en los sistemas acuáticos. En aguas dulces superficiales, se han reportado concentraciones basales de manganeso inferiores a 5 $\mu\text{g/L}$ [88].

Sin embargo, las actividades humanas pueden causar aumentos significativos en estas concentraciones. Las principales fuentes de contaminación ambiental por manganeso incluyen los humos, polvos y aerosoles de procesos metalúrgicos, operaciones mineras y otras actividades industriales [89]. A esto se suman la combustión de carbón, la producción de cemento portland y la incineración de residuos sólidos.

2.3.3 Deficiencia y Toxicología del manganeso

El consumo de manganeso es una parte importante de la dieta diaria humana, con aproximadamente 10 mg/días considerados suficientes para satisfacer las necesidades dietéticas diarias. La deficiencia de manganeso puede tener consecuencias adversas, según estudios en humanos que han inducido esta deficiencia. Los efectos reportados incluyen hipocolesterolemia, dermatitis y una pérdida moderada de peso [90]

En términos de toxicidad, se ha documentado que la exposición laboral al manganeso, principalmente por inhalación, puede provocar trastornos neurológicos y psiquiátricos[91]. Las grandes exposiciones prolongadas al manganeso pueden resultar en enfermedades graves. Por ejemplo, los mineros de manganeso y las personas que trabajan en la fabricación de acero y están expuestos a altos niveles de polvo de manganeso durante períodos prolongados pueden experimentar una enfermedad conocida como manganismo.

Los síntomas del manganismo incluyen trastornos mentales y emocionales, así como movimientos corporales lentos y torpes. Algunos síntomas pueden mitigarse con tratamiento médico, pero el manganeso daña una parte del cerebro que controla los movimientos del cuerpo, lo que puede ser permanente. La inhalación de polvo de manganeso también puede causar irritación pulmonar, dificultades respiratorias y aumentar el riesgo de infecciones pulmonares como la neumonía. Además, los hombres expuestos a niveles altos de polvo de manganeso pueden experimentar problemas de impotencia [92]

2.3.4 El manganeso en el medio ambiente y sus efectos en la salud

Entre los usos más destacados del manganeso se encuentra la industria, donde se utiliza principalmente en la producción de acero, otorgándole mayor dureza, rigidez y fuerza. Además, se emplea en la elaboración de fuegos artificiales, fertilizantes, pinturas, cosméticos y aditivos para la gasolina [93]

El manganeso se encuentra en el aire debido a las emisiones industriales, la minería y el humo de los automóviles; en el suelo en niveles bajos, y en alimentos. También está presente en las aguas subterráneas y el agua potable. En los sistemas de distribución de agua potable, la corrosión causada por iones

de manganeso puede ser dañina para la salud, aunque no es la principal ruta de contaminación. En el aire, las partículas de manganeso pueden ingresar al cuerpo a través de los pulmones y llegar al cerebro. La toxicidad del manganeso depende de varios factores, como la concentración, el tiempo de exposición, el tipo de contacto con el metal, la edad, el sexo y la dieta. La inhalación de manganeso puede causar inflamación; después de 5 horas de exposición a una mezcla de partículas concentradas de metales que incluye manganeso, se produce estrés oxidativo en los pulmones [94]

Los efectos de la exposición a partículas de manganeso incluyen pérdida de libido, impotencia, efectos neurológicos significativos y neurotoxicidad, que es uno de los efectos más comunes. La acumulación de manganeso en el organismo puede provocar efectos psiquiátricos, como comportamientos compulsivos violentos, inestabilidad emocional y alucinaciones, junto con síntomas como dolor de cabeza, fatiga, pérdida de apetito e insomnio.

El manganeso es un elemento frecuentemente presente en los relaves mineros, especialmente en aquellos procedentes de la explotación de minerales metálicos como el cobre, el zinc y el hierro [91]. La presencia de manganeso en los relaves representa un riesgo ambiental, porque su liberación al medio ambiente, especialmente en cuerpos de agua cercanos, puede afectar negativamente la calidad del agua y los ecosistemas, debido a su capacidad de generar toxicidad en concentraciones elevadas [92]

La remoción de contaminantes comprende diversos procesos biológicos y fisicoquímicos, que se traducen en bienes y servicios ecosistémicos muy valioso [95]

La remoción de contaminantes emergentes se requiere de tratamientos avanzados para una incorporación segura de las aguas residuales al ambiente. Se han estudiado varias opciones que incluyen sistemas con tratamientos físico-químicos, procesos de oxidación avanzada, procesos biológicos, tratamientos combinados, entre otros". La remoción de contaminantes se entiende como la eliminación de compuestos dañinos dentro de un medio, esta necesita de procesos biológicos y fisicoquímicos para su correcta disposición, este proceso

elimina cualquier contaminante dentro del suelo, agua o aire. Para lograr esto, se debe pasar por varias etapas [96]

2.4 Definición de términos básicos

- a) 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 [97]
- b) 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 [97]
- c) Concentración.**– En química, la concentración de una solución es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución o de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente es la sustancia que disuelve al soluto, y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores. [98]
- d) Isotermas de Adsorción.**– Podemos definir la isoterma de adsorción como la relación analítica que correlaciona la cantidad de un singular componente adsorbido en una interface con la concentración de éste en el seno de la fase [98]
- e) Metales pesados.**– Se aplica a cualquier elemento metálico que tenga una densidad relativamente alta y que sea tóxico o venenoso, aun en bajas concentraciones [98]
- f) 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.) [97]
- g) Quitosano.**– El quitosano es un polímero natural que se adquiere mediante un proceso biológico, se utiliza como coagulante y floculante a la vez para el tratamiento que se dan a las aguas para ser potabilizadas y no genera daños a la salud humana [97]

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general

La adsorción con quitosano a nivel laboratorio permitirá reducir el contenido del manganeso en soluciones acuosas.

Hipótesis específicas

- 1) La concentración de quitosano tendrá un efecto significativo sobre la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel de laboratorio.
- 2) La velocidad de agitación de quitosano tendrá un efecto significativo en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.
- 3) El tipo de quitosano tendrá un efecto significativo en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.
- 4) Existe una relación positiva fuerte entre el aumento de tiempo de adsorción de quitosano y el aumento de la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.

3.1.1. Operacionalización de variables

Definición conceptual

Las variables que afectan la remoción de manganeso son: la concentración del quitosano y la velocidad de agitación.

Variable dependiente

Y_1 : Remoción de manganeso.

La remoción de manganeso se determinará evaluando las concentraciones inicial y final del manganeso en la solución acuosa.

Variables independientes

X_1 = Concentración quitosano

X_3 = Tipo de quitosano

X_2 = Velocidad de agitación

X_4 = Tiempo de adsorción

Tabla 4
Matriz de operacionalización de variables

Variables dependientes	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Método	Técnica
Y ₁ =Remoción de manganeso	Proceso de eliminación de manganeso disuelto en soluciones preparadas artificialmente, simulando condiciones específicas de contaminación [98]	La remoción de manganeso se evalúa midiendo la concentración inicial y final de manganeso en la solución y determinando la eficiencia de remoción.	Eficiencia de remoción	% Eficiencia	Experimental	Espectrofotometría
Variables independientes	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Método	Técnica
X ₁ =Concentración quitosano	Proceso en el cual el quitosano, se utiliza como adsorbente para la eliminación de contaminantes, como el manganeso, de soluciones acuosas [99]	La cantidad de quitosano en la solución influencia en la reducción de la concentración de manganeso.	Masa de quitosano añadida por unidad de volumen	g/L	Experimental	Gravimetría
X ₂ =Velocidad de agitación	Velocidad de agitación en solución acuosa con el quitosano [100]	La velocidad de trabajo del agitador con la que remueve la mezcla entre el quitosano y la solución.	Velocidad de agitación	rpm	Experimental	Agitación magnética
X ₃ =Tipo de quitosano	El tipo de quitosano se refiere a la variación en las propiedades estructurales y químicas del material utilizado como adsorbente [37].	Quitosano obtenido experimentalmente y comercial	Tipo de quitosano	adimensional	Experimental	
X ₄ =Tiempo de adsorción	El tiempo de adsorción se define como el período durante el cual se permite la interacción entre el adsorbente (quitosano) y el adsorbato (contaminante) para lograr la máxima remoción [101]	El tiempo de contacto entre la solución y el adsorbente	Tiempo de contacto en horas	horas	Experimental	Cronometría

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

Esta investigación es de tipo aplicada, enfocada en ampliar el entendimiento sobre la adsorción de quitosano y su efectividad en la remoción de manganeso de soluciones acuosas, sin una aplicación inmediata a la realidad práctica. A través de un nivel explicativo, se realizaron experimentos en un entorno controlado, manipulando la variable independiente, que en este caso es el uso del quitosano como adsorbente, para observar su efecto en la remoción de manganeso, la variable dependiente. Este nivel de investigación se centra en la verificación de hipótesis causales mediante diseños experimentales. Con un enfoque cuantitativo, la investigación midió y cuantificó las variables utilizando indicadores numéricos, aplicando métodos y técnicas estadísticas para analizar los datos y comprobar las hipótesis planteadas [102]

4.1.1. *Diseño experimental para la concentración, velocidad de agitación y tipo de quitosano de estudio*

El diseño experimental de la investigación se hará basado en el método Diseño Factorial. En la **Tabla 5** se puede observar los niveles y factores que se estarán considerando para la experimentación.

Tabla 5
Factores y niveles de experimentación

Factores	Notación	Unidades	Niveles		
			Bajo(-)	Medio	Alto(+)
Concentración de quitosano	X1	g	20	30	40
Velocidad de agitación	X2	RPM	100	150	200
Tipo de quitosano	X3		Experimental		Comercial

El diseño factorial para esta investigación se realizará con 3 factores (concentración de quitosano, velocidad de agitación y Tipo de quitosano), de tres

niveles y 2 niveles respectivamente, obteniéndose 18 pruebas experimentales, **(Ver Tabla 6)**

Tabla 6
Matriz de experimentación

Tratamientos	A:Dosis de Quitosano (g)	B:Velocidad de agitación (RPM)	C:Tipo de Quitosano
1	20	100	Quitosano Comercial
2	20	100	Quitosano experimental
3	20	150	Quitosano Comercial
4	20	150	Quitosano experimental
5	20	200	Quitosano Comercial
6	20	200	Quitosano experimental
7	30	100	Quitosano experimental
8	30	100	Quitosano Comercial
9	30	150	Quitosano experimental
10	30	150	Quitosano Comercial
11	30	200	Quitosano experimental
12	30	200	Quitosano Comercial
13	40	100	Quitosano experimental
14	40	100	Quitosano Comercial
15	40	150	Quitosano experimental
16	40	150	Quitosano Comercial
17	40	200	Quitosano experimental
18	40	200	Quitosano Comercial

4.1.2. Diseño experimental para tiempo de adsorción

Se ha desarrollado un seguimiento experimental a la remoción de manganeso con el máximo remoción obtenido del primer diseño experimental, sobre esta máxima remoción se ha realizado un seguimiento de las horas necesarias, tomando muestras cada hora hasta que se encuentre la saturación del quitosano. En la **Tabla 7 (Ver pag. Nº 50)** se muestra el diseño experimental

Tabla 7
Diseño experimental del tiempo y la remoción de manganeso

Tiempo de adsorción (h)	Remoción de Manganeso (%)
T1	Y1
T2	Y1
T3	Y1
T4	Y1
T5	Y1
Tn	Y1

4.2. Método de investigación

Para demostrar las hipótesis, se desarrolló una serie de procedimientos como se describe a continuación.

a) Etapa I: Obtención del quitosano.— Para el ensayo se compró 10 Kg de camarón de río fresco (*Cryphiops caementarius*) del terminal pesquero – Callao. Los camarones de río fresco fueron colocados en un cooler a temperatura a 8°C, para que no sufra ninguna descomposición, evitando la contaminación cruzada.

El pretratamiento del quitosano seguirá varias etapas consistentes en el retiro del exoesqueleto del crustáceo, despigmentación, desmineralización, desproteinización, desacetilación

b) Etapa II: Determinación de la curva de patrón en espectrofotómetro.— Para el presente estudio se preparó una solución madre de sulfato de manganeso $MnSO_4$ 100 ppm

c) Etapa III: Preparación de la solución acuosa.— Para el presente estudio se preparó una solución madre de sulfato de manganeso monohidratado ($MnSO_4 \cdot H_2O$) 100 ppm

d) Etapa IV: Tratamiento de muestras con coagulante quitosano.– Se utilizó un sistema de agitación magnética en el laboratorio de la Facultad de Química de la Universidad Nacional del Callao (UNAC) para el proceso de remoción de manganeso en muestras acuosas previamente analizadas. Las muestras se trabajaron con concentraciones de 20 g, 30 g y 40 g de coagulante quitosano, con el objetivo de evaluar la concentración óptima para la remoción de manganeso en las muestras de agua. Durante los tratamientos con agitación se establecerán parámetros fijos utilizando vasos de 1 L

4.3. Población y muestra

Dado que el presente trabajo de investigación es experimental la determinación de la población y el tamaño de muestra mediante procedimientos estadísticos no son aplicables.

La población quedará determinada en función a la cantidad de solución acuosa de sulfato de manganeso monohidratado con una concentración de 18 ppm requerida para las pruebas experimentales que en este caso fue un total de 20 L. La muestra tomada para cada ensayo fue de 1 L de solución acuosa en función al tamaño del equipo utilizado para las pruebas experimentales de adsorción.

4.4. Lugar de estudio y periodo de desarrollo

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de Investigación y laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la Universidad Nacional del Callao.

Este trabajo se desarrolló durante el periodo del 2 de setiembre al 30 de noviembre del 2024

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

En el presente capítulo se detallan las técnicas e instrumentos de recolección de información.

4.5.1. Técnica

Etapa I: Obtención del quitosano.

a) Preparación del coagulante quitosano

- 1) Se retiró el exoesqueleto de los camarones haciendo uso de guantes quirúrgicos y guardapolvo; el cual fue almacenado en vasos precipitado de 1L limpios y secos.
- 2) Se realizó el lavado del exoesqueleto de camarón almacenado con el apoyo de un colador y después reposo de 10 min, el peso húmedo obtenido 500 g
- 3) Luego se colocó en papel aluminio el exoesqueleto a secar dentro de la estufa una temperatura de 90°C durante 4 horas.
- 4) Posteriormente se realizó el triturado del exoesqueleto secado, y finalmente se tamizó en la rejilla de 0,04 mm hasta obtener un polvillo uniforme.

Figura 6
Proceso de preparación coagulante quitosano

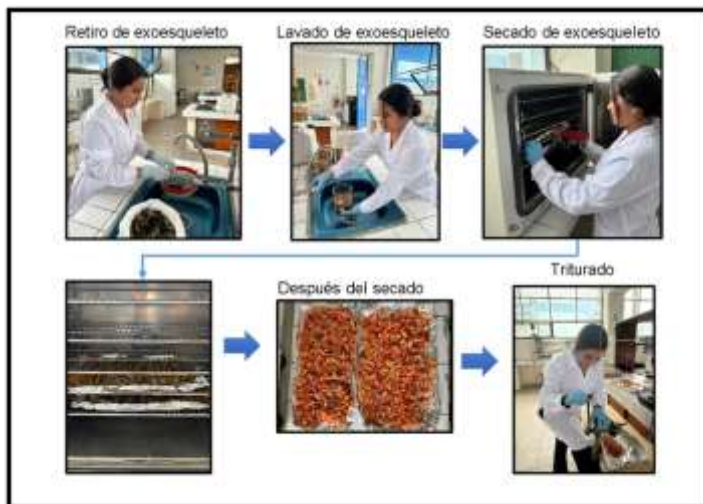


Foto tomado en el laboratorio de Investigación de la FIQ

b) Despigmentación.– En este proceso se buscará eliminar el pigmento astaxantina del exoesqueleto.

- 1) Se preparó una solución de etanol al 85% v/v (volumen de etanol/volumen de agua destilada).
- 2) Se pesó el exoesqueleto en una proporción de 1:10 (1 g exoesqueleto por cada 10 mL de etanol).
- 3) Se colocó la mezcla en agitación a 500 rpm por 2 horas a temperatura ambiente.
- 4) Se armó el equipo de filtración al vacío (embudo Buchner, Erlenmeyer con desprendimiento lateral, mangueras y bomba de aire)
- 5) Para filtrar la mezcla, se lavó el exoesqueleto con agua destilada y se volvió a filtrar.
- 6) Después del filtrado, se secó en un horno o estufa a 90°C durante 4 horas.

Figura 7
Proceso de despigmentación

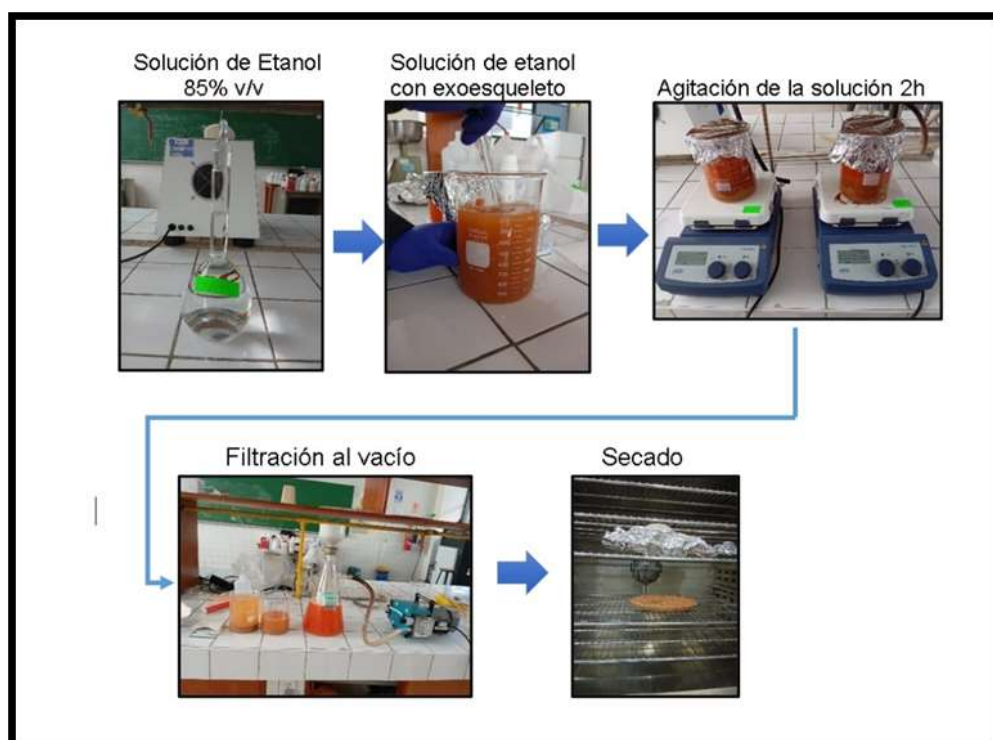


Foto tomado en el laboratorio de Investigación de la FIQ.

c) **Desmineralización.**– Este proceso tiene como objetivo eliminar los minerales presentes en el exoesqueleto.

- 1) Se preparó una solución de ácido clorhídrico al 1,5 M
- 2) Se pesó el exoesqueleto despigmentado en una proporción de 1:10 (1 gramo de exoesqueleto por cada 10 mL de ácido clorhídrico)
- 3) La solución se agitó a 500 rpm durante 3 horas a temperatura ambiente.
- 4) Luego, se utilizó el sistema de filtración al vacío para separar el exoesqueleto desmineralizado de la solución de ácido clorhídrico.
- 5) Se lavó posteriormente con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro (6,5 – 7)
- 6) Finalmente, el material se filtró y secó en un horno a 90°C durante 4 horas.

Figura 8
Proceso de desmineralización

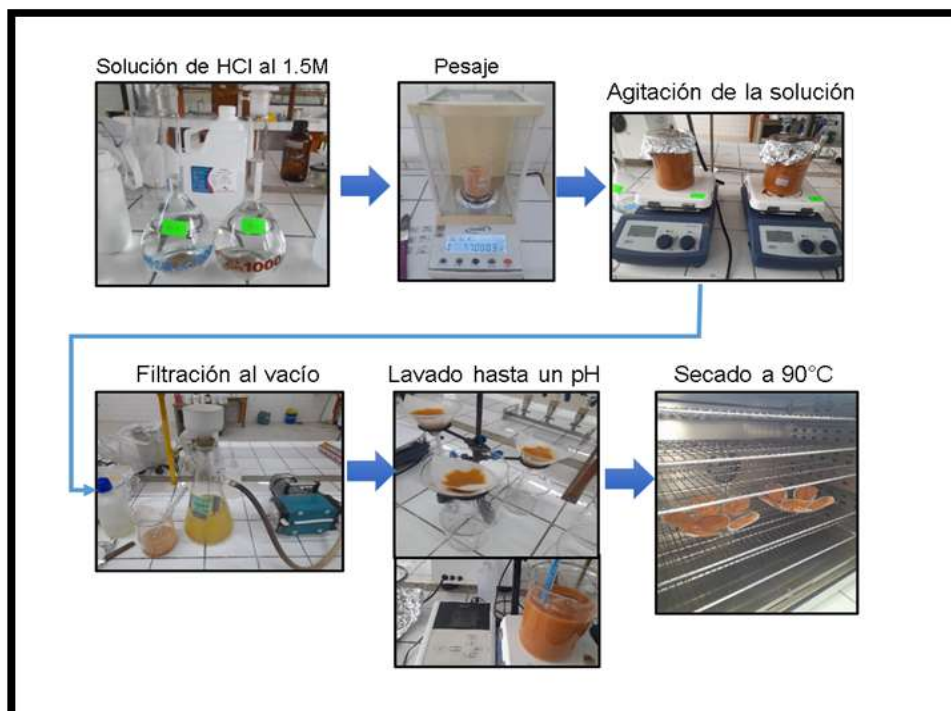


Foto tomado en el laboratorio de Investigación de la FIQ.

d) Desproteínización.– Este proceso se realizó para eliminar las proteínas presentes en el exoesqueleto, resultando en quitina.

- 1) Se preparó una solución de hidróxido de sodio al 1 M.
- 2) Se pesó el exoesqueleto desmineralizado en una proporción de 1:10 (1 gramo de exoesqueleto por cada 10 mL de hidróxido de sodio).
- 3) Se colocó en agitación a 500 rpm durante 2 horas a 80°C.
- 4) Mediante el sistema de filtración al vacío, se separó la quitina de la solución.
- 5) Se lavó con agua destilada hasta obtener un pH neutro (6,5 – 7).
- 6) Finalmente, se filtró y secó en un horno a 90°C durante 4 horas.

Figura 9
Proceso de desproteínización

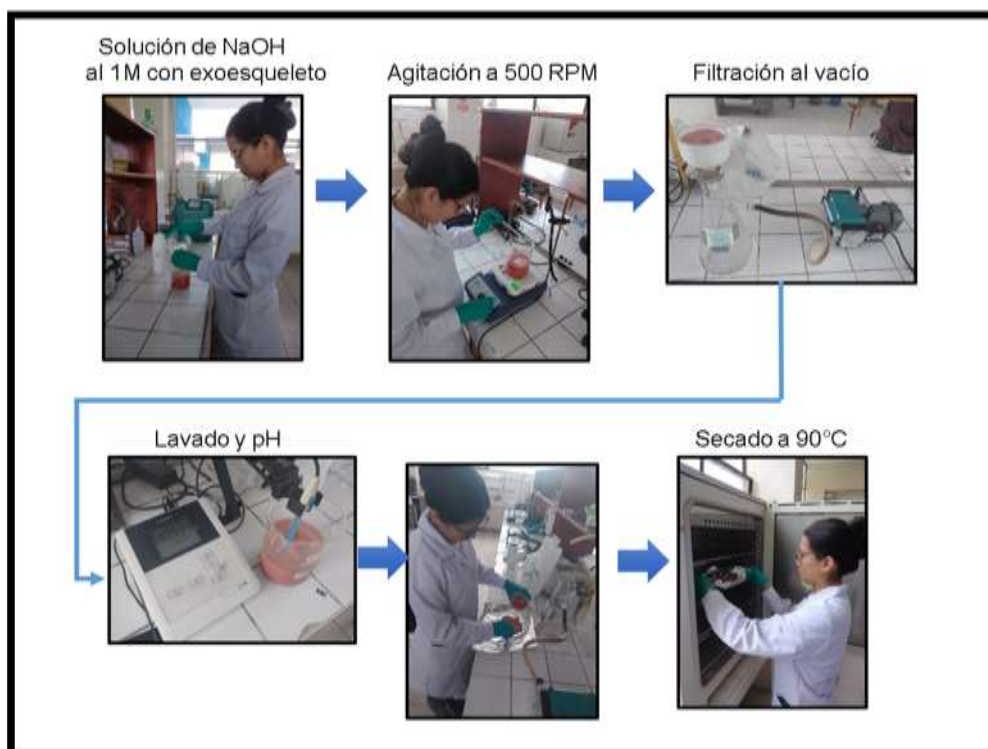


Foto tomado en el laboratorio de Investigación de la FIQ.

- e) **Desacetilación.**– Este proceso consiste en realizar una desacetilación parcial para obtener quitosano con un grado de desacetilación del 80%
- 1) Se preparó una solución de hidróxido de sodio al 50% p/v (masa del soluto/volumen de la solución),
 - 2) Se pesó la quitina en una proporción de 1:10 (1 gramo de quitina por cada 10 mL de hidróxido de sodio).
 - 3) Se colocó en agitación a 500 rpm durante 3 horas a 100°C.
 - 4) Luego, se separó el quitosano de la solución de hidróxido de sodio utilizando un sistema de filtración al vacío.
 - 5) Se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro (6,5 – 7)
 - 6) Finalmente, se filtró y secó en un horno a 90°C durante 4 horas.
- f) **Comprobación :**
- 1) Se preparó una solución de ácido acético al 4% v/v.
 - 2) Se tomó 0,5 g de quitosano y 5 mL de ácido acético (2% p/v)
 - 3) Se mezcló hasta obtener un gel homogéneo.

Figura 10
Proceso de desacetilación

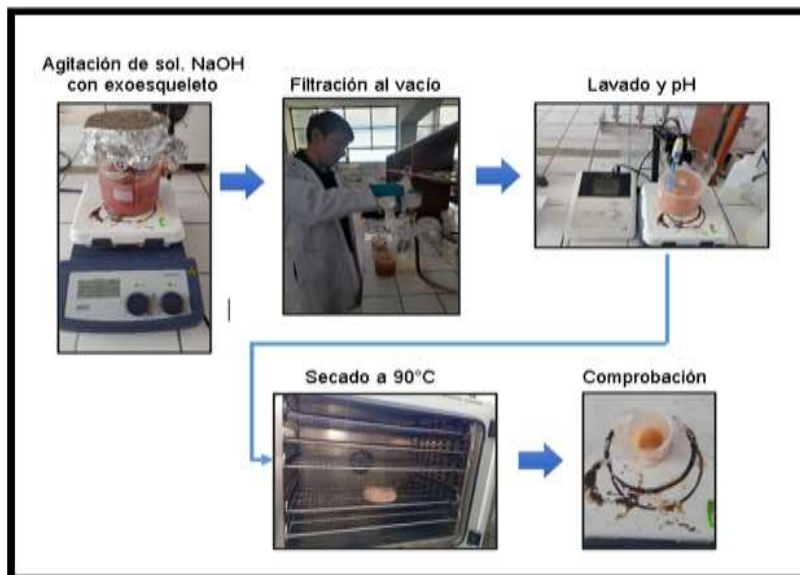


Foto tomado en el laboratorio de Investigación de la FIQ.

Etapa II: Determinación de la curva patrón en espectrofotómetro

a) Preparación de la solución madre 100 ppm con KMnO_4

- 1) Se pesó una cantidad de 0,28765 g de permanganato de potasio (KMnO_4) usando una balanza analítica para preparar una solución de 100 ppm.
- 2) Se transfirió la solución a un matraz aforado y completó hasta la marca de 1L con agua desionizada, obteniendo así la solución madre de manganeso a una concentración conocida.

b) Preparación de las soluciones diluidas

- 1) Se diluyó muestras a partir de la solución madre para obtener concentraciones de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 en ppm.

c) Determinación de la curva

- 1) Se midieron absorbancias en el espectrómetro UV-vis a una longitud de onda de 525 nm, se obtuvo la curva en referencia.

Figura 11
Proceso de curva patrón en espectrofotómetro

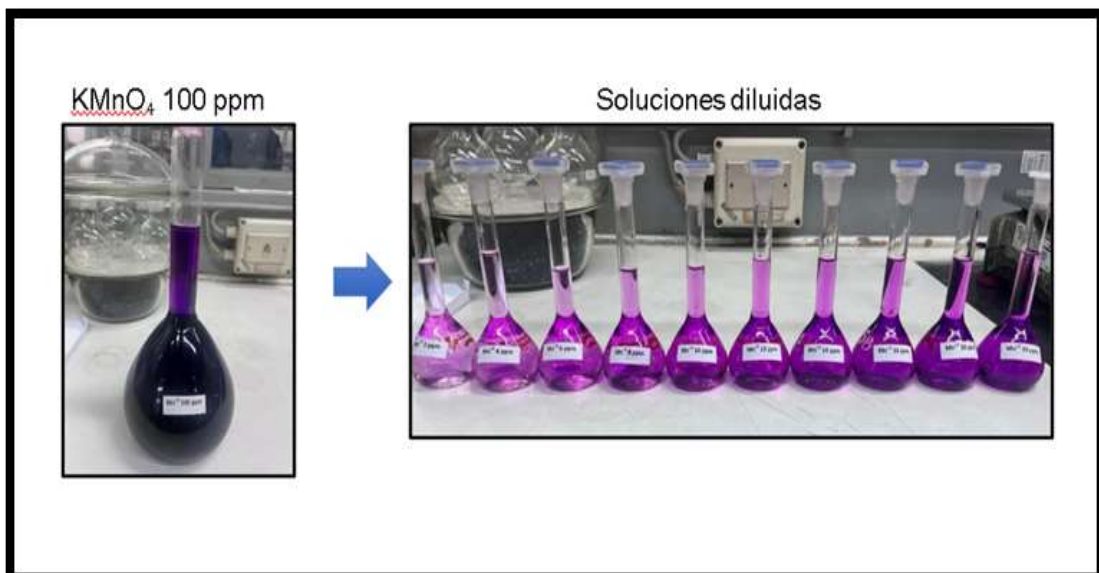


Foto tomado de laboratorio de Investigación de la FIQ.

Etapa III: Preparación de la solución acuosa

a) Preparación de la solución madre de manganeso

- 1) Se pesó una cantidad de 0,05651 g de sulfato de manganeso monohidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) usando una balanza analítica para preparar una solución de 18 ppm.
- 2) Se disolvió el sulfato de manganeso en una pequeña cantidad de agua desionizada en un vaso de precipitado, utilizando un agitador magnético para asegurar la disolución completa del soluto.
- 3) Se transfirió la solución a un matraz aforado y completó hasta la marca de 1 L con agua desionizada, obteniendo así la solución madre de manganeso a una concentración conocida.
- 4) Se midió la concentración real y pH de la solución.

Preparación de las soluciones de trabajo:

Para preparar soluciones de trabajo con diferentes concentraciones de manganeso, se diluyó la solución madre en diferentes proporciones utilizando agua desionizada para obtener las muestras con una concentración de 18 mg/L.

Homogeneización

- a) Después de preparar cada solución, se agitó suavemente para asegurar la homogeneización del manganeso en el agua.
- b) Almacenar las soluciones de trabajo en frascos limpios y etiquetados adecuadamente hasta su uso en los experimentos.

En la **Figura 13 (Ver pag. Nº 63)** se representa la secuencia seguida para el tratamiento de las muestras.

Figura 12
Proceso de tratamiento de muestras

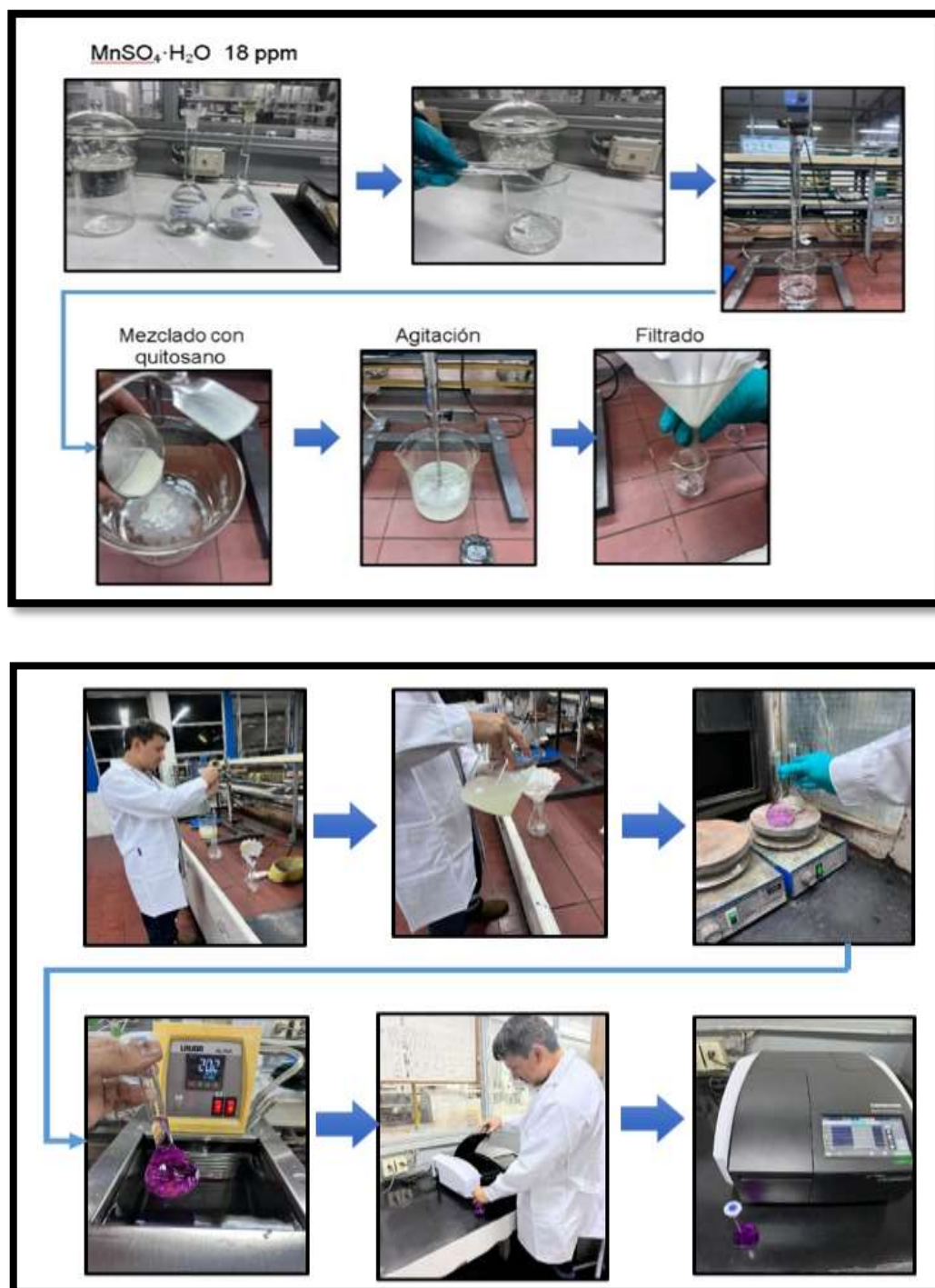


Foto tomado de laboratorio de Investigación de la FIQ.

Etapa IV: Tratamiento de muestras con coagulante quitosano

Para el diseño experimental, se midió los indicadores manganeso (mg/L) De acuerdo con la matriz operacional y el planteamiento del problema, se buscó evaluar la eficiencia de remoción. Por lo tanto, los indicadores de respuesta obtenidos en los experimentos, junto con la caracterización inicial del agua, determinarán el porcentaje de eficiencia utilizando la fórmula correspondiente.

$$\% \text{ Remoción } Y = \frac{C_0 - C_t}{C_0}$$

Donde:

C_o : Concentración inicial

C_t : Concentración final

Y : Respuesta

Se realizó la medición en el espectrofotómetro para la medición de absorbancia y se utilizó una curva de calibración.

4.5.2. Equipos y Materiales

a. Equipos

- 1) Balanza semi-analítica resolución 0,001 g con rango de 500 g (OHAUS)
- 2) Balanza de humedad (IKA COMBITHERM HCT)
- 3) Espectrofotómetro UV-visible (SHIMADZU UV -1800)
- 4) Agitador automático de hélice. (IKA' EUROSTAR 60)
- 5) pH-Metro (modelo CG 840, SCHOTT)
- 6) Estufa eléctrica. (HERAEUS)

b. Materiales

- 1) Vasos de precipitado de 1 L
- 2) Agua desmineralizada
- 3) Malla metálica Mesh # 60
- 4) Fiolas 10 mL, 50 mL y 100 mL
- 5) Lunas de reloj.
- 6) Pinzas.

- 7) Soporte universal
- 8) Embudos
- 9) Cronómetro.
- 10) Bagueta de vidrio
- 11) Papel filtro de 25 mm

c. Materia prima e insumos

- 1) Residuos de camarón de río (fresco).
- 2) NaOH 50% p/v
- 3) Etanol 85% v/v
- 4) HCl 1,5M
- 5) NaOH 1M
- 6) $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- 7) KMnO_4
- 8) Ácido peryodico
- 9) KIO_4

4.6. Análisis y procesamiento de datos

El procedimiento estadístico seguido en la investigación se enfocó en evaluar la influencia de los factores experimentales: concentración de quitosano, velocidad de agitación, tipo de quitosano y tiempo de adsorción sobre la eficiencia de remoción de manganeso. Este análisis estadístico permitió identificar los efectos principales y las interacciones significativas entre los factores, utilizando técnicas paramétricas y no paramétricas según la naturaleza de los datos.

a. Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk)

Para determinar si los datos seguían una distribución normal, se aplicó la prueba de Shapiro–Wilk. Esta evaluación es esencial para decidir si los análisis posteriores pueden realizarse con métodos paramétricos o si deben emplearse métodos alternativos.

b. Prueba de homogeneidad de varianzas (Levene)

La prueba de Levene se utilizó para evaluar si las varianzas eran homogéneas entre los niveles de los factores. Este supuesto es clave para validar la aplicación de ANOVA.

c. Análisis de varianza (ANOVA)

Se aplicó un ANOVA factorial para identificar los efectos principales de los factores (concentración, velocidad, tipo de quitosano) y sus interacciones. Este análisis permitió calcular los valores F y los p-valores asociados para evaluar la significancia estadística.

d. Análisis de correlación (Spearman)

Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la relación entre el tiempo de adsorción y la eficiencia de remoción de manganeso.

Para el procesamiento de datos en esta investigación se utilizó el programa Design Expert para organizar los datos y representarlos en gráficos que permitan su posterior análisis estadístico, así como el programa IBM SPSS Statistics 25.

4.7. Aspectos éticos en investigación

En la presente tesis titulada "ADSORCIÓN CON QUITOSANO PARA LA REMOCIÓN DE MANGANESO EN SOLUCIONES ACUOSAS A NIVEL LABORATORIO", los tesisistas señalamos que hemos cumplido fielmente con el código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado y actualizado por N° 260–2019–CU

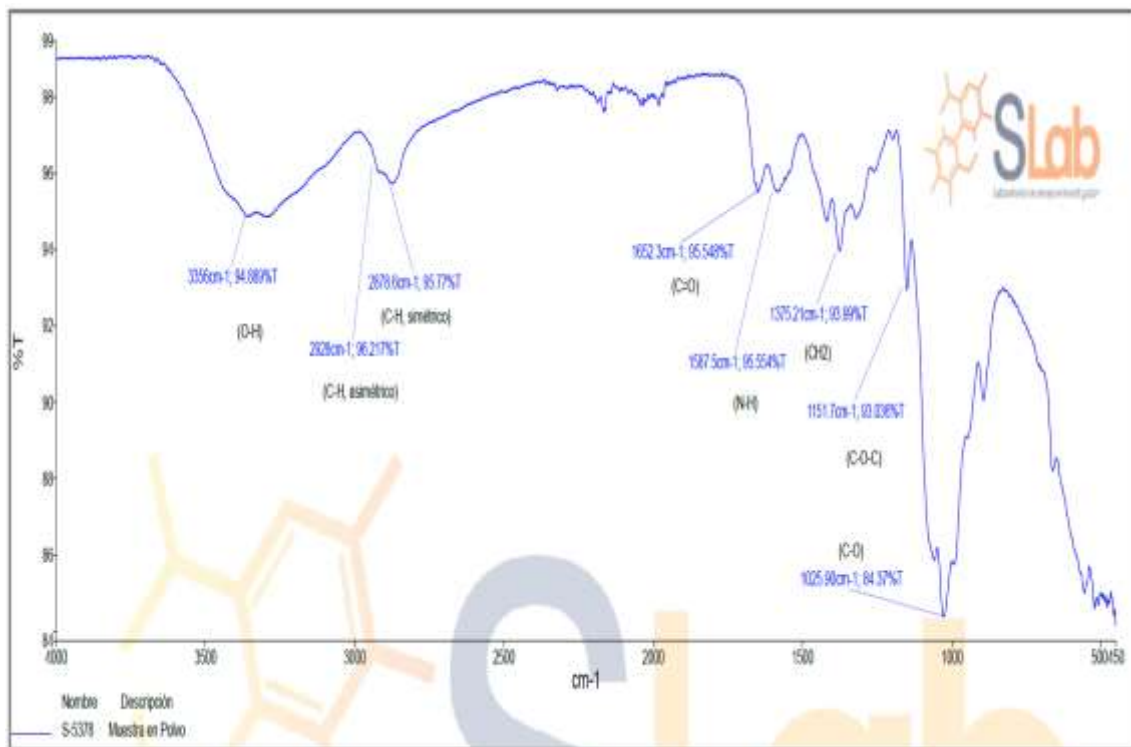
V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Caracterización del quitosano por F-TIR

El espectro FT-IR del quitosano presentado muestra las características principales de este biopolímero, confirmando su estructura funcional y composición química. La **Figura 13** muestra los ensayos de caracterización por FTIR. Se encontraron grupos funcionales con picos característicos de enlace OH, CH, C=O, NH, CH₂, COC, CO, que están presentes en estructuras de un quitosano.

Figura 13
Resultados del espectro FT-IR del quitosano



Datos de laboratorio SLab

5.1.2. Resultados descriptivos de la concentración de quitosano, velocidad de agitación y tipo de quitosano sobre la eficiencia de remoción

A. Resultados de la matriz experimental en la eficiencia de remoción

El análisis de la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas consideró tres factores principales: concentración de quitosano, velocidad de agitación y tipo de quitosano (experimental y comercial). Los resultados de la medición de la eficiencia de remoción son presentados en la **Tabla 8**

Tabla 8
Eficiencia de remoción de manganeso a partir de quitosano

Tratamiento	A:Dosis de quitosano (g)	B:Velocidad de agitación (RPM)	C: Tipo de Quitosano	Eficiencia (%)
1	20	100	Quitosano Comercial	16,07
2	20	100	Quitosano experimental	22,82
3	20	150	Quitosano Comercial	14,95
4	20	150	Quitosano experimental	19,18
5	20	200	Quitosano Comercial	13,21
6	20	200	Quitosano experimental	18,18
7	30	100	Quitosano experimental	19,43
8	30	100	Quitosano Comercial	20,06
9	30	150	Quitosano experimental	24,70
10	30	150	Quitosano Comercial	22,93
11	30	200	Quitosano experimental	20,94
12	30	200	Quitosano Comercial	16,95
13	40	100	Quitosano experimental	31,10
14	40	100	Quitosano Comercial	26,67
15	40	150	Quitosano experimental	29,97
16	40	150	Quitosano Comercial	26,17
17	40	200	Quitosano experimental	32,48
18	40	200	Quitosano Comercial	28,66

B. Indicadores descriptivos

La **Tabla 9** presenta los estadísticos descriptivos de los factores evaluados en el diseño experimental: concentración de quitosano, velocidad de agitación, tipo de quitosano y eficiencia de remoción de manganeso (%)

Tabla 9

Estadísticos descriptivos de los resultados de los indicadores experimentales

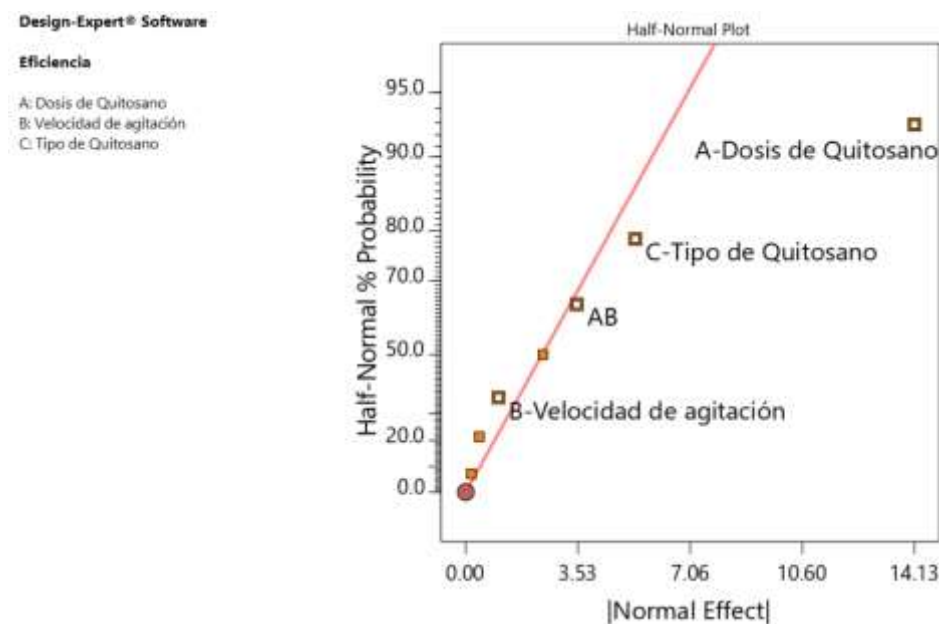
Indicadores	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación	Asimetría	Curtosis
Concentración de Quitosano	18	1,00	3,00	1,8889	0,83235	0,224	-1,518
Velocidad de Agitación	18	1,00	3,00	2,0000	0,84017	0,000	-1,594
Tipo de quitosano	18	1,00	2,00	1,5000	0,51450	0,000	-2,267
Eficiencia (%)	18	13,21	32,48	22,4706	5,77126	0,217	-1,007

C. Efecto de los indicadores experimentales en la eficiencia de remoción

El diagrama Half–Normal presentado en la **Figura 14** proporciona una visión clara de la relevancia que tienen los factores principales y sus interacciones en la eficiencia de remoción de manganeso.

Figura 14

Gráfico de efecto de Half–Normal



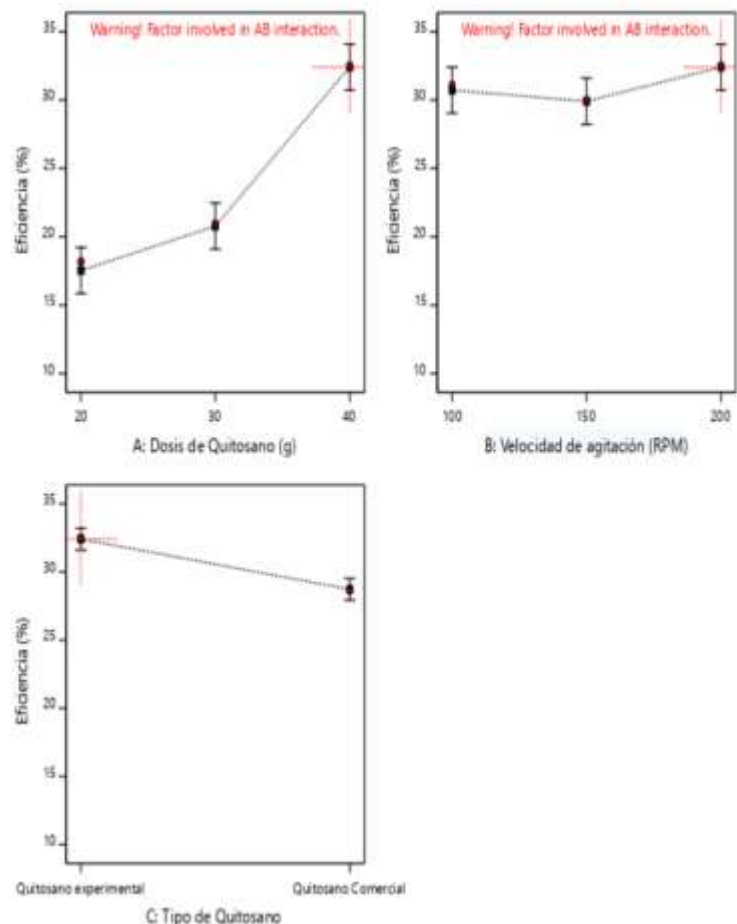
La **Figura 15** presentada ilustra los efectos principales de los factores analizados: concentración de quitosano, velocidad de agitación y tipo de quitosano sobre la eficiencia de remoción de manganeso en condiciones óptimas. Dichas condiciones comprenden el uso de 40 g de quitosano, una agitación de 200 RPM y la aplicación de un quitosano experimental. Cada uno de los gráficos individuales permite apreciar cómo estos parámetros inciden tanto de forma independiente como conjunta, mostrando no solo la magnitud de su influencia, sino también las posibles interacciones entre ellos.

Figura 15
Gráfico de efectos de los indicadores sobre la eficiencia

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual

Eficiencia (%)
● Design Points

Actual Factors
A: Dosis de Quitosano = 40
B: Velocidad de agitación = 200
C: Tipo de Quitosano = Quitosano experimental



5.1.3. Resultados descriptivos del tiempo de adsorción sobre la eficiencia de remoción

La **Tabla 10** presenta la evolución del proceso de remoción de manganeso en solución, tanto en términos de concentración residual (expresada en ppm) como de porcentaje de eliminación, a lo largo de un intervalo de tiempo que se extiende hasta las 8 horas de adsorción.

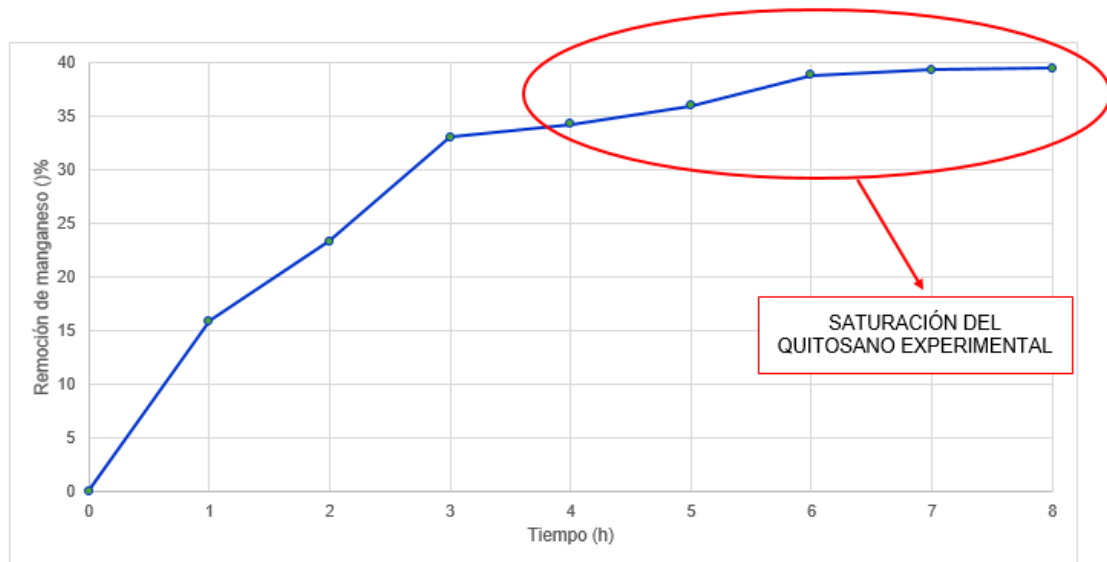
Tabla 10
Remoción del Manganeso a medida que el tiempo se incrementa

Tiempo de absorción (h)	Concentración de Manganeso (ppm)	Remoción de Manganeso (%)
0	18,20	0,00
1	15,31	15,87
2	13,96	23,31
3	12,20	32,98
4	11,97	34,22
5	11,66	35,96
6	11,14	38,81
7	11,05	39,30
8	11,02	39,43

En la **Figura 16 (Ver pag. N° 68)** se presenta una curva que muestra la disminución del contenido de manganeso en función del tiempo (horas), expresando la eficiencia del quitosano experimental en la remoción de este metal a lo largo de un período de aproximadamente 8 horas. En el eje vertical (ordenadas) se representa el porcentaje de remoción de manganeso, mientras que en el eje horizontal (abscisas) se indica el tiempo transcurrido en horas.

Figura 16

Disminución de la concentración de manganeso hasta la saturación del quitosano experimental



5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Concentración de quitosano, velocidad de agitación y tipo de quitosano en la remoción de manganeso

A. Prueba de normalidad

Los resultados obtenidos en la **Tabla 11 (Ver pag. N° 69)** mediante la prueba de normalidad Shapiro–Wilk respaldan el empleo de métodos estadísticos paramétricos en el análisis de la eficiencia de remoción de manganeso.

B. Análisis de la homogeneidad de varianza

La **Tabla 12 (Ver pag. N° 69)** muestra que, al aplicar la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de las varianzas en la eficiencia de remoción de manganeso, todos los factores analizados concentración de quitosano (20, 30, 40 g), velocidad de agitación (100, 150, 200 RPM) y tipo de quitosano (experimental, comercial) presentan valores de significancia superiores a 0.05.

Tabla 11
Resultados de la Normalidad en función de la eficiencia de remoción

Indicadores	Niveles	Estadístico de Shapiro–Wilk	gl	Sig. (p-value)
Concentración de Quitosano (g)	20	0,976	7	0,940
	30	0,859	6	0,186
	40	0,944	5	0,694
Velocidad de agitación (RPM)	100	0,964	6	0,847
	150	0,984	6	0,970
	200	0,931	6	0,588
Tipo de quitosano	Quitosano experimental	0,881	9	0,160
	Quitosano comercial	0,924	9	0,424

Tabla 12
Homogeneidad de varianza

Indicadores	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.(p-value)	
Concentración de Quitosano	Se basa en la media	0,50	2,00	15,00	0,62
	Se basa en la mediana	0,36	2,00	15,00	0,71
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,36	2,00	11,13	0,71
	Se basa en la media recortada	0,41	2,00	15,00	0,67
Velocidad de agitación	Se basa en la media	0,65	2,00	15,00	0,54
	Se basa en la mediana	0,34	2,00	15,00	0,72
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,34	2,00	13,03	0,72
	Se basa en la media recortada	0,61	2,00	15,00	0,56
Tipo de quitosano	Se basa en la media	0,03	1,00	16,00	0,86
	Se basa en la mediana	0,05	1,00	16,00	0,83
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,05	1,00	15,28	0,83
	Se basa en la media recortada	0,03	1,00	16,00	0,86

C. Análisis de la varianza (ANOVA)

La **Tabla 13 (Ver pag. Nº 70)** sintetiza los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado para evaluar la influencia de diversos factores en la eficiencia de remoción de manganeso. En este estudio, se consideraron la concentración de quitosano (A), la velocidad de agitación (B), el tipo de quitosano (C) y la interacción entre la concentración y la velocidad (AB).

Tabla 13
Análisis de la varianza (ANOVA)

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
Model lineal	548,74	9,00	60,97	28,48	0,000
A-Concentración de Quitosano	439,54	2,00	219,77	102,66	0,000
B-Velocidad de agitación	5,12	2,00	2,56	1,20	0,351
C-Tipo de Quitosano	61,01	1,00	61,01	28,50	0,001
AB	43,08	4,00	10,77	5,03	0,025
Residual	17,13	8,00	2,14		
Cor Total	565,86	17,00			

5.2.2. Tiempo de adsorción y la remoción de manganeso

A. Prueba de normalidad

La **Tabla 14** presenta los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk aplicada a los datos del porcentaje de remoción de manganeso en función del tiempo de adsorción. La normalidad de los datos no solo facilita la interpretación de los resultados, sino que también influye en la validez de las conclusiones a las que se pueda llegar. En el contexto del presente estudio, asegurar que las condiciones estadísticas se cumplan es fundamental para obtener inferencias sólidas y confiables.

Tabla 14
Análisis de la Normalidad

	Shapiro–Wilk		Sig.
	Estadístico	gl	
Remoción de Manganeso (%)	0,818	8	0,045

B. Análisis correlacional

La **Tabla 15** presenta de manera detallada el comportamiento entre el tiempo de adsorción, medido en horas, y el porcentaje de remoción de manganeso, utilizando el coeficiente de correlación de Spearman como herramienta de análisis. Este coeficiente permite cuantificar tanto la fuerza como la dirección de la relación lineal entre estas dos variables, aportando una visión más clara sobre cómo el incremento en las horas de contacto afecta la eficiencia del proceso de adsorción.

Tabla 15
Análisis correlacional

		Tiempo	Remoción
Tiempo	Correlación de Spearman	1,000	0,991**
	Sig. (bilateral)		0,001
	N	8,000	8,000
Remoción	Correlación de Spearman	0,991**	1,000
	Sig. (bilateral)	0,001	
	N	8,000	8,000

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

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

En lo que corresponden a la eficiencia de la remoción del manganeso por adsorción mediante quitosano, los resultados indican que concentraciones bajas de quitosano (20 g) y velocidades de agitación reducidas (100–150 RPM, Tratamientos 1 y 4) producen eficiencias limitadas de remoción, alcanzando 24,05% y 24,22%, respectivamente, independientemente del tipo de quitosano utilizado. Con una concentración intermedia de 30 g (Tratamiento 2), la eficiencia mejora hasta 30,94% a 100 RPM, mientras que una concentración más alta de 40 g incrementa la eficiencia significativamente, logrando valores de 38,36% y 38,45% a 100 y 150 RPM (Tratamientos 3 y 6), respectivamente. La combinación más efectiva se observó en el Tratamiento 9 (40 g y 200 RPM), con una eficiencia máxima de 38,79%, lo que indica una interacción positiva entre la concentración y la velocidad de agitación.

El tipo de quitosano también desempeña un papel crítico en la eficiencia de remoción. En concentración bajas (20 g) y velocidades de agitación altas (200 RPM, Tratamiento 7), tanto el quitosano experimental como el comercial muestran eficiencias similares y bajas (aproximadamente 24,46%), sugiriendo que la velocidad por sí sola no compensa la concentración insuficiente. Sin embargo, en concentración más altas (40 g), el quitosano experimental tiende a superar ligeramente al comercial, particularmente en velocidades más altas (Tratamiento 9). Esto podría atribuirse a diferencias en la estructura molecular o capacidad adsorbente entre ambos tipos de quitosano.

La máxima eficiencia de remoción se logra con concentración altas de quitosano (40 g), altas velocidades de agitación (200 RPM) y un uso óptimo del tipo de quitosano, destacando que el quitosano experimental podría ofrecer ventajas adicionales en condiciones específicas. Este análisis enfatiza la importancia de ajustar los tres factores para maximizar la capacidad de adsorción en tratamientos experimentales.

Las hipótesis se discutieron en función de las dimensiones de las variables independiente y dependiente.

6.1.1. Hipótesis sobre el efecto de la concentración de quitosano:

- 1) **Hipótesis alterna (H_1):** La concentración de quitosano tendrá un efecto significativo sobre la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel de laboratorio.
- 2) **Hipótesis Nula (H_0):** La concentración de quitosano no tendrá un efecto significativo sobre la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel de laboratorio.

Para discutir la estructura del quitosano se tiene el análisis FT-IR mostrado en la **Figura 14 (Ver pag. Nº 65)** donde se muestra que en la región de $3\ 350\text{ cm}^{-1}$ se observa una banda ancha asociada al estiramiento de los grupos hidroxilo ($-\text{OH}$), lo cual es típico de los polisacáridos y refleja la capacidad del quitosano para formar enlaces de hidrógeno. También se evidencian bandas en $2\ 878\text{ cm}^{-1}$ y $2\ 926\text{ cm}^{-1}$ correspondientes al estiramiento de los enlaces C-H en grupos metilo y metileno, típicos de los esqueletos alifáticos.

En la región media del espectro, a $1\ 652\text{ cm}^{-1}$, se identifica una banda característica del estiramiento C = O en el grupo amida I, indicativo de la presencia de residuos de N-acetilglucosamina, que no han sido completamente desacetilados en el quitosano. A $1\ 587\text{ cm}^{-1}$ se encuentra una banda atribuida al estiramiento N-H del grupo amina primaria, confirmando la desacetilación parcial del quitosano. Además, la banda observada en $1\ 375\text{ cm}^{-1}$ puede atribuirse al estiramiento C-H del grupo metilo en la estructura.

En la región de los $1\ 157\text{ cm}^{-1}$ y $1\ 025\text{ cm}^{-1}$ se evidencian bandas asociadas al estiramiento C-O-C de enlaces glucosídicos y al estiramiento C-O en los grupos alcoholes primarios y secundarios, respectivamente, los cuales son inherentes a la estructura de los polisacáridos como el quitosano. Estas características reflejan la presencia de grupos funcionales clave que le otorgan al quitosano sus propiedades adsorbentes, como la capacidad de

interactuar químicamente con metales pesados. El análisis FT–IR confirma la estructura característica del quitosano, con funcionalidad de aminas y grupos hidroxilo que son cruciales para su capacidad de adsorción de manganeso y otros iones metálicos en soluciones acuosas. Este espectro valida su potencial como adsorbente en procesos de remoción de contaminantes.

Según la **Tabla 9 (Ver pag. Nº 65)** los resultados descriptivos de la concentración de quitosano variaron entre 1 y 3 unidades codificadas (equivalentes a 20, 30 y 40 g), con una media de 1,8889 y una desviación estándar de 0,83235, mostrando una distribución ligeramente sesgada hacia valores menores (asimetría de 0,224) y una curtosis de – 1,518, indicando una distribución más plana que la normal. Así también La **Figura 15 (Ver pag. Nº 66)** destaca de manera notoria el factor A (concentración de quitosano), que se separa significativamente de la línea de referencia, lo que corrobora que, a mayores concentraciones, por ejemplo, alrededor de 40 g, se potencia la eficiencia de remoción.

La **Figura 15 (Ver pag. Nº 66)** relacionado con la concentración de quitosano (A) deja en evidencia una relación directamente proporcional entre el incremento de la cantidad de quitosano y la eficiencia de remoción. Al aumentar la concentración de 20 g a 40 g, la eficiencia se eleva significativamente, superando el 35%. Este resultado sugiere que una mayor cantidad de quitosano provee más sitios activos disponibles para la adsorción del manganeso, consolidando así la concentración como el factor de mayor peso en el rendimiento del sistema.

En la **Tabla 11 (Ver pag. Nº 69)** se muestra la normalidad y al observar las concentraciones de quitosano de 20 g, 30 g y 40 g, los valores de significancia (0,940; 0,186 y 0,694) muestran un ajuste cercano a la distribución normal, con una ligera inclinación a desviación no significativa en la concentración intermedia.

Con base en los resultados obtenidos, el análisis de varianza (ANOVA) demuestra que la concentración de quitosano (concentración) tiene un efecto altamente significativo sobre la eficiencia de remoción de manganeso. El

valor F asociado a este factor es 102,66, con un p-value < 0,0001, lo que indica que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula (H_0). Esto confirma que la concentración de quitosano influye significativamente en la eficiencia del proceso.

Según el análisis ANOVA la suma de cuadrados de la concentración de Q quitosano es elevada (439,54) y un valor F extremadamente alto (102,66), este factor muestra una significancia estadística contundente ($p < 0.0001$). En la práctica, ello se traduce en que a mayor concentración de quitosano, se logra una mejor capacidad de remoción de manganeso, afirmación que concuerda con las tendencias observadas previamente en la literatura y en ensayos piloto.

Además, los datos indican que al incrementar la concentración de quitosano de 20 g a 40 g, la eficiencia de remoción aumenta de 24,05% a 38,79%, lo que representa una mejora notable del 61,2% en las condiciones experimentales. Este comportamiento resalta la importancia del quitosano como adsorbente y respalda la hipótesis del investigador (H_1). Los resultados confirman que la concentración de quitosano es el factor más influyente, validando la hipótesis alternativa (H_1) y rechazando la hipótesis nula (H_0).

6.1.2. Hipótesis sobre el efecto de la velocidad de agitación del quitosano

- 1) Hipótesis alterna (H_1):** La velocidad de agitación de quitosano tendrá un efecto significativo en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.
- 2) Hipótesis Nula (H_0):** La velocidad de agitación de quitosano no tendrá un efecto significativo en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.

Según la **Tabla 9 (Ver pag. Nº 65)** la velocidad de agitación osciló entre 1 y 3 unidades codificadas (correspondientes a 100, 150 y 200 RPM), con una media de 2.0000 y una desviación estándar de 0,84017. Esta variable presenta una distribución simétrica (asimetría de 0,000) con una curtosis de - 1,594, similar al patrón observado en la concentración de quitosano. Así también, la **Figura 15 (Ver pag. Nº 66)** muestra que la interacción AB pone de manifiesto que la

velocidad de agitación se vuelve más crítica a concentraciones elevadas, porque una mayor dispersión del adsorbente favorece el contacto con la superficie activa y optimiza el proceso de adsorción. La concentración de quitosano surge como el factor más determinante en la eficiencia de remoción, seguido por el tipo de quitosano. La velocidad de agitación, si bien por sí sola muestra menor impacto, cobra importancia en combinación con la concentración. Estos hallazgos subrayan la necesidad de ajustar de manera conjunta estos factores para maximizar la eficiencia del proceso.

La **Figura 15 (Ver pag. N° 66)** muestra que la velocidad de agitación (B) demuestra un efecto más moderado sobre la eficiencia. Al aumentar la velocidad hasta alrededor de 200 RPM se logra una ligera mejora en la dispersión del quitosano, lo que incrementa la superficie de contacto con la solución y favorece la adsorción. Sin embargo, su impacto es comparativamente menor frente a la concentración. El hecho de que aparezca la interacción "AB" en los gráficos indica que el beneficio de incrementar la velocidad se potencia cuando se combina con una concentración elevada de quitosano, evidenciando una sinergia entre ambos factores.

En la **Tabla 11 (Ver pag. N° 69)** se muestra la normalidad y mostrando que las velocidades de agitación de 100, 150 y 200 RPM (0,847; 0,970 y 0,588) reflejan datos que se distribuyen normalmente.

Por otra parte, la velocidad de agitación (B) no presenta un efecto significativo por sí sola ($p = 0,351$, $F = 1,20$), lo que sugiere que la mera modificación de la velocidad no altera sustancialmente la eficiencia promedio. Esto no implica que no tenga ningún efecto en el proceso, sino que su influencia no es lo suficientemente consistente como para resultar estadísticamente relevante cuando se la considera de forma aislada. Con base en los resultados del análisis de varianza (ANOVA), el efecto de la velocidad de agitación sobre la eficiencia de remoción de manganeso no es estadísticamente significativo. El valor F asociado a la velocidad de agitación es 1,20, con un p-value de 0,351; lo cual supera el umbral de significancia típico de 0,05. Esto indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula (H_0

Aunque la velocidad de agitación parece tener un impacto moderado cuando se evalúa en combinación con otros factores, como la concentración de quitosano (interacción AB, p -value = 0,025), su efecto aislado no es significativo. Por ejemplo, al aumentar la velocidad de agitación de 100 RPM a 200 RPM con concentraciones bajas de quitosano (20 g), la eficiencia apenas mejora de 24,05% a 24,46%. Sin embargo, en condiciones óptimas de concentración (40 g), el efecto de la velocidad es más evidente, alcanzando una eficiencia máxima de 38,79% a 200 RPM. La velocidad de agitación no tiene un efecto significativo por sí sola en la remoción de manganeso (se valida la hipótesis nula, H_0)

6.1.3. Hipótesis sobre el efecto del tipo de quitosano

- 1) **Hipótesis alterna (H_1):** El tipo de quitosano tendrá un efecto significativo en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.
- 2) **Hipótesis Nula (H_0):** El tipo de quitosano no tendrá un efecto significativo en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.

Según la **Tabla 9 (Ver pag. Nº 65)**, los resultados descriptivos mostraron que el tipo de quitosano, codificado como 1 para quitosano comercial y 2 para experimental, mostró una media de 1,5000 y una desviación estándar de 0,51450; indicando una distribución equilibrada entre ambos tipos de quitosano. La distribución fue completamente simétrica (asimetría de 0.000) pero con una curtosis de $-2,267$, más achatada en comparación con las otras variables. Así también, la **Figura 15 (Ver pag. Nº 66)** muestra que el factor C (tipo de quitosano) también muestra un efecto significativo, aunque menor que el de la concentración. Esto sugiere que el uso de quitosano experimental podría mejorar ligeramente la eficiencia del proceso en comparación con el quitosano comercial, probablemente debido a diferencias en la estructura molecular o en la capacidad de adsorción del material. En cuanto al factor B (velocidad de agitación), su influencia individual es más moderada; sin embargo, adquiere mayor relevancia cuando se combina con la concentración de quitosano.

En cuanto al tipo de quitosano (C), la **Figura 16 (Ver pag. N° 68)** muestra que el quitosano experimental muestra un desempeño ligeramente superior al comercial. Esta ventaja puede atribuirse a diferencias en su estructura molecular, que posibilitan una mayor eficiencia en la captura del manganeso. Si bien la magnitud de esta mejora es moderada, respalda la idea de que no solo la cantidad, sino también la calidad y las propiedades intrínsecas del quitosano pueden influir en el proceso.

En la **Tabla 11 (Ver pag. N° 69)** se muestra la normalidad, considerando los factores evaluados., y los tipos de quitosano, tanto experimental (0,160) como comercial (0,424); presentan también valores por encima del umbral estándar (0,05); indicando una distribución adecuada.

En el caso del tipo de quitosano (C), la diferencia es clara y significativa ($p = 0,001$; $F = 28,50$) Estos resultados indican que la variación en el material—entre quitosano experimental y comercial—genera cambios notables en el desempeño del proceso. El quitosano experimental ofrece una mayor capacidad de adsorción del manganeso. La interacción $A \times B$ (AB) también resulta significativa ($p = 0,025$; $F = 5,03$). Con base en los resultados obtenidos, el análisis de varianza (ANOVA) indica que el tipo de quitosano tiene un efecto significativo sobre la eficiencia de remoción de manganeso. El valor F asociado a este factor es 28,50, con un p-value de 0,001, lo que es menor al umbral de significancia estándar de 0,05. Esto proporciona evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula (H_0) y confirmar que el tipo de quitosano influye significativamente en la remoción de manganeso.

En términos de cantidades, los datos muestran que el quitosano experimental genera eficiencias ligeramente superiores en comparación con el quitosano comercial, especialmente bajo condiciones óptimas de operación. Por ejemplo, con una concentración de 40 g y una velocidad de agitación de 200 RPM, el quitosano experimental logra una eficiencia de 38,79%, mientras que el comercial alcanza eficiencias ligeramente menores en las mismas condiciones.

6.1.4. Hipótesis sobre el efecto del tiempo de adsorción

- 1) **Hipótesis del alterna (H_1):** Existe una relación positiva fuerte entre el aumento de tiempo de adsorción de quitosano y el aumento de la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.
- 2) **Hipótesis Nula (H_0):** No existe una relación positiva fuerte entre el aumento de tiempo de adsorción de quitosano y el aumento de la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.

En la primera etapa, correspondiente a las primeras 3 horas, como se muestra en la **Tabla 10 (Ver pag. Nº 67)** se observa una rápida disminución de la concentración de manganeso en el agua. La concentración inicial, cercana a 18,20 ppm, desciende hasta aproximadamente 12,20 ppm a las 3 horas, lo que implica una reducción de 6 ppm en un corto lapso. Está marcada caída sugiere que, en la fase inicial, los sitios activos del adsorbente están ampliamente disponibles, facilitando una alta eficiencia de remoción a medida que se establece un contacto inmediato entre el manganeso disuelto y el quitosano. Sin embargo, entre las 4 y 8 horas, la reducción de la concentración se torna más moderada, estabilizándose en torno a las 11 ppm. Esta meseta indica que el sistema comienza a acercarse a una condición de equilibrio, en la cual la mayor parte de los sitios de adsorción se encuentran ocupados, y la tasa de captura de manganeso se reduce significativamente.

La tendencia opuesta se observa en el porcentaje de remoción. En las primeras 3 horas, este indicador aumenta con rapidez hasta alcanzar aproximadamente un 33%, reflejo directo de la elevada captación inicial del metal disuelto. A partir de este punto, el incremento en la eficiencia es más lento, situándose en torno a un 39% a las 8 horas. Esta desaceleración en el aumento del porcentaje de remoción reafirma el acercamiento al equilibrio del sistema: conforme los sitios activos se saturan, la fuerza impulsora que promueve el transporte del manganeso hacia la superficie del adsorbente disminuye, y el sistema entra en una fase más estable y menos dinámica.

Así también, la **Figura 16 (Ver pag. Nº 68)** muestra que a medida que avanza el tiempo, la curva asciende de manera marcada durante las primeras horas,

reflejando un aumento progresivo en la capacidad adsorbente del quitosano. Esto indica que, inicialmente, el material presenta sitios activos disponibles que favorecen la remoción del manganeso, incrementando así el porcentaje de eliminación. Sin embargo, a partir de cierto punto, notablemente entre las 5 y 7 horas, la tendencia se estabiliza, mostrando un incremento cada vez más limitado en la remoción total. Esta meseta sugiere la saturación del quitosano experimental: ya no existen suficientes sitios activos libres para continuar adsorbiendo el manganeso, alcanzando un nivel máximo de remoción. En otras palabras, aunque el material ha sido efectivo, llega a un punto en el que no puede retirar más manganeso del medio, alcanzándose así la “capacidad máxima” o saturación del material.

En términos cuantitativos, los datos muestran que la eficiencia de remoción aumenta considerablemente en las primeras horas. Por ejemplo, en las primeras 3 horas, la eficiencia incrementa de 0,00% a 32,98%, mientras que en las siguientes horas el incremento es más moderado, alcanzando 39,43% al final de 8 horas. Esto sugiere que la relación es más pronunciada al inicio del proceso y tiende a estabilizarse conforme el sistema se aproxima al equilibrio.

En términos numéricos, el estadístico de Shapiro–Wilk obtenido es 0,818, con un total de 8 grados de libertad correspondientes al número de observaciones tomadas. Esta cifra, por sí misma, brinda una primera aproximación a la forma de la distribución de los datos. Sin embargo, el aspecto más importante es el valor de significancia (Sig.), que para este caso es de 0,045. Dado que el umbral convencional para tomar decisiones suele ser 0,05, un valor de significancia menor a este punto de corte implica que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad. En otras palabras, los porcentajes de remoción de manganeso no se distribuyen de manera normal.

Con base en el análisis correlacional el valor del coeficiente ($r = 0,991$) en la **Tabla 15 (Ver pag. Nº 71)** indica una relación positiva fuerte, lo que significa que, a medida que se incrementa el tiempo de adsorción, la eficiencia de remoción del manganeso aumenta de forma significativa. Además, la significancia estadística asociada ($p = 0,001$) se ubica por debajo del umbral convencional de

0,05, lo que refuerza la validez de esta relación. Estos resultados sugieren que prolongar el tiempo de exposición del quitosano al manganeso potencia su capacidad para retener el metal, incrementando así el porcentaje de remoción.

Los resultados validan la hipótesis alternativa (H_1), confirmando una relación positiva fuerte entre el tiempo de adsorción y la eficiencia de remoción de manganeso. Sin embargo, el impacto del tiempo se reduce progresivamente después de las primeras 4 horas, indicando que tiempos prolongados pueden no ser eficientes en términos de costo–beneficio.

6.2. Contrastación y demostración de la hipótesis con otros autores.

6.2.1. Concentración de quitosano

Los resultados de esta investigación muestran que la concentración de quitosano es el factor más influyente en la remoción de manganeso, con un F–valor de 102,66 y un p–valor $< 0,0001$, lo que valida su impacto estadístico. Este hallazgo está respaldado por múltiples estudios. Agustiono [34] demostraron que concentraciones elevadas de quitosano incrementan significativamente la eficiencia de remoción de metales pesados debido a la presencia de grupos amino cargados positivamente, los cuales forman enlaces electrostáticos con los iones metálicos. De manera similar, López [39] destacó que la adsorción mejora linealmente con el aumento de la concentración de quitosano hasta un punto de saturación. En su estudio, se lograron eficiencias del 68% utilizando una concentración de cascarilla de arroz de 30 g/L en una solución de quitosano al 3%. Se mejora significativamente la adsorción de Cromo (VI), alcanzando niveles óptimos en 90 minutos, debido a la alta disponibilidad de grupos funcionales activos que facilitan la interacción con los contaminantes.

Además, Sánchez [42] encontró que concentraciones de quitosano cercanas a 2,5 g/700 mL eran óptimas para la remoción de plomo, alcanzando eficiencias de 94,66% en sistemas con pH ajustado. Se explica que la alta eficiencia se debe a la disponibilidad de grupos funcionales activos del quitosano, los cuales interactúan electrostáticamente con los iones de plomo en condiciones de pH controlado. Esto subraya la importancia de ajustar la concentración y el pH para

maximizar la capacidad de remoción en función de las características específicas del contaminante y la matriz acuosa.

6.2.2. Velocidad de agitación

Aunque no se identificó como un factor significativo por sí solo (F–valor: 1,20; $p = 0,351$), la velocidad de agitación mostró relevancia cuando se combinó con concentraciones elevadas de quitosano. En nuestra investigación, la máxima remoción de manganeso (38,79%) se logró al combinar una concentración de 40 g con una velocidad de agitación de 200 RPM. Este hallazgo es consistente con los resultados de Orosco [29], quien observó que la agitación manual fue suficiente para lograr una eficiencia de remoción del 58% para Plomo y del 30% para Cadmio en lixiviados. Comparativamente, Ali [38] indicó que la agitación mejora la adsorción al aumentar las colisiones entre los sitios activos del adsorbente y los contaminantes, pero que una agitación excesiva puede resultar innecesaria en sistemas homogéneos. Este comportamiento sugiere que la optimización de la velocidad de agitación depende tanto del tipo de matriz como del contaminante tratado, destacando la importancia de evaluar este parámetro para minimizar costos energéticos mientras se maximiza la eficiencia del proceso.

6.2.3. Tipo de quitosano

El análisis ANOVA indicó que el tipo de quitosano tiene un impacto significativo en la eficiencia de remoción (F–valor: 28,50; $p = 0,001$). El quitosano experimental demostró ser más eficiente que el comercial, alcanzando una eficiencia de 38,79% frente al 36,50% bajo condiciones óptimas. Esto se alinea con los hallazgos de Das [37], quien identificó que el quitosano experimental tiene una estructura menos cristalina y una mayor proporción de grupos funcionales activos, lo que facilita la adsorción de metales pesados. En la página 5 del artículo, se detalla que esta mejora estructural aumenta significativamente la eficiencia de adsorción, especialmente en condiciones ácidas, permitiendo una interacción más efectiva con los iones metálicos. Además, Khaled [32] evaluó quitosano modificado con glicina y encontró que estas modificaciones estructurales aumentan la capacidad adsorbente en sistemas acuosos,

sugiriendo que el origen y la preparación del quitosano son críticos para su rendimiento.

En términos comparativos, Sánchez [42] observó que el quitosano derivado de exoesqueletos de langostinos también mostró eficiencias significativas en la remoción de plomo en aguas subterráneas, alcanzando hasta un 94.66%, lo que sugiere que las características específicas del contaminante y la matriz influyen el rendimiento del quitosano. En nuestra investigación, el quitosano sin activar, utilizado como referencia, mostró una menor eficiencia debido a su estructura cristalina más compacta y una proporción limitada de grupos funcionales activos disponibles para la adsorción. Este contraste refuerza la importancia de evaluar modificaciones estructurales del quitosano para aplicaciones específicas.

6.2.4. Tiempo de adsorción

El tiempo de adsorción tuvo una correlación positiva fuerte con la remoción de manganeso ($r = 0,902$; $p = 0,002$). En esta investigación, la remoción aumentó rápidamente en las primeras 4 horas, alcanzando el 39,43% al final de las 8 horas. Begum [35] reportó un comportamiento similar en la adsorción de cadmio, destacando que la saturación de los sitios activos ocurre entre 6 y 8 horas, lo que limita incrementos adicionales. Además, en su estudio se observó que la eficiencia de adsorción varía dependiendo del tamaño de los iones metálicos, con un aumento inicial rápido seguido por una fase de equilibrio en la que la adsorción permanece constante debido a la saturación de los sitios activos y las fuerzas repulsivas entre los iones en el adsorbente y la solución. Estos resultados resaltan la importancia de establecer un tiempo de contacto óptimo para maximizar la remoción sin prolongar innecesariamente el proceso. Además, Das [37] identificó que la optimización del tiempo de contacto es crucial para la adsorción de diferentes tintes utilizando hidrogeles de quitosano (LP–Ch). Se observó que el tiempo óptimo de contacto varía entre 1,5 h y 2,5 h dependiendo del tipo de tinte, alcanzándose un estado de saturación en el cual todos los sitios disponibles se encontraban ocupados. Este proceso incluye una fase inicial rápida seguida de una etapa de equilibrio en la que no se observa un incremento significativo en la eficiencia de remoción. Asimismo, Orosco [29] encontró que la

eficiencia de adsorción para Plomo y Cadmio en lixiviados del botadero de Haqira utilizando quitosano alcanzó un 58% para Pb y un 30% para Cd. En nuestra investigación, se observó una remoción máxima del 39,43% para manganeso en un tiempo de 8 horas, lo que es consistente con los hallazgos de Orosco, aunque el tiempo óptimo para remoción de Pb y Cd en su estudio fue de 6 días con una concentración de 12 g de quitosano. En su trabajo, el Plomo disminuyó de 1,8105 mg/L a 0,75825 mg/L y el Cadmio de 2,183 mg/L a 1,5174 mg/L (p. 45), lo que destaca la relevancia de adaptar los tiempos de contacto y concentración dependiendo del contaminante específico y la matriz de la solución tratada. Ali [38] también estudió el tiempo de contacto entre adsorbente y adsorbato, encontrando que la tasa de adsorción aumentó rápidamente en los primeros 20 minutos, alcanzando un estado de equilibrio en aproximadamente 100 minutos, con eficiencias del 86% para Fe(II) y del 49% para Mn(II). Este proceso se debe a la saturación progresiva de los sitios activos en la superficie del adsorbente. Comparando estos resultados con nuestra investigación, donde el manganeso alcanzó una remoción del 39,43% en 8 horas, se observa que el tiempo.

VII.CONCLUSIONES

- 1) Como conclusión general la adsorción con quitosano resultó parcialmente efectiva para disminuir el contenido de manganeso en soluciones acuosas, demostrando que la eficiencia de remoción depende no solo de la concentración y el tipo de quitosano utilizado, sino también del tiempo de contacto y, en menor medida, de la velocidad de agitación.
- 2) Se determinó que la concentración de quitosano influye significativamente en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas. Al incrementar la concentración del quitosano, la eficiencia aumentó notoriamente, logrando un máximo del 38,79% con 40 g de quitosano y 200 RPM. El modelo estadístico confirmó la relevancia de este factor ($p < 0,0001$; $F = 102,66$)
- 3) Se determinó que la velocidad de agitación presenta un efecto marginal en la remoción de manganeso frente a la concentración de quitosano. Aunque velocidades más altas (200 RPM) mejoran ligeramente la eficiencia, especialmente combinadas con concentraciones mayores de quitosano, su efecto independiente no resulta significativo (p -valor = 0,351)
- 4) Se determinó que el tipo de quitosano influye significativamente en la eficiencia de remoción de manganeso. El quitosano experimental superó al comercial, con un p -valor de 0,001 y un F -valor de 28,50, alcanzando 38,79% de remoción bajo condiciones óptimas (40 g, 200 RPM), mientras que el quitosano comercial mostró un rendimiento ligeramente menor.
- 5) Se determinó que el tiempo de adsorción es una variable clave en la eficiencia de remoción de manganeso con quitosano. La correlación entre tiempo y eficiencia fue alta ($r = 0,991$; $p = 0,001$), alcanzándose un máximo de 39,43% a las 8 horas, aunque gran parte del incremento ocurrió en las primeras 4 horas antes de estabilizarse.

VIII. RECOMENDACIONES

- 1) Al enfrentar concentraciones elevadas de manganeso, se recomienda optimizar la concentración de quitosano alrededor de 40 g/L, evaluando cuidadosamente la velocidad de agitación y otros factores operativos para maximizar la eficiencia de remoción sin incurrir en costos excesivos ni comprometer la estabilidad del sistema.
- 2) Se sugiere caracterizar en detalle las propiedades físico-químicas, así como un mayor detalle con algún activador, para el incremento de radicales OH en el quitosano y su desempeño a escala de laboratorio y piloto, con el fin de determinar una mayor eficiencia y establecer las condiciones operativas óptimas para potenciar su capacidad de adsorción en aplicaciones prácticas.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ESPINOSA RAMÍREZ, A. J.** El agua, un reto para la salud pública: la calidad del agua y las oportunidades para la vigilancia en salud ambiental. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2018.
2. **RAHMAN, M. A., HASHEM, M. A., RANA, M. S., ISLAM, M. R.** Manganese in potable water of nine districts, Bangladesh: human health risk. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 45663–45675, 2021.
3. **CHAVEZ ESPINOZA, P. L., FERNANDEZ GOICOHEA, R.** Residuos agrícolas empleados para la adsorción y remoción de la contaminación del medio hídrico por manganeso: Revisión sistemática, 2022.
4. **HUAMANÍ AZORZA, J. A., HUAMOLLE BARRETO, A. O.** Remoción de cadmio en soluciones acuosas usando nanopartículas de hierro cerovalente sobre una matriz de quitosano, 2017.
5. **DE GÁSQUE, B. R., RODRÍGUEZ, R., PRIN, J. L.** Hidrogeles semi-IPN sintetizados a partir de quitosano y acrilamida: su aplicación en aguas industriales residuales de una empresa automotriz. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(6), 2011.
6. **BRIFFA, J., SINAGRA, E., BLUNDELL, R.** Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
7. **RODRIGUES, G. Z. P., DE SOUZA, M. S., GEHLEN, G.** Impacts caused by manganese in the aquatic environments of Brazil. *Polluted Water Bodies in Latin America: Impact Contaminants, Species, Ecology & Interests*, 329–337, 2019.
8. **DEY, S., TRIPATHY, B., KUMAR, M. S., DAS, A. P.** Ecotoxicological consequences of manganese mining pollutants and their biological remediation. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5, 55–61, 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04812>

9. **BENAVIDES, L., AVELLÁN, T., CAUCCI, S., HAHN, A., KIRSCHKE, S., MÜLLER, A.** Assessing sustainability of wastewater management systems in a multi-scalar, transdisciplinary manner in Latin America. *Water*, 11(2), 249, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w11020249>
10. **LOARTE VARGAS, A. D., SANABRIA CONTRERAS, V. R.** Efecto del pH y tipo de adsorbente en la remoción de manganeso de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015.
11. **MALATESTA AULESTIA, S. A.** Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea de consumo humano, Localidad El Triunfo, Distrito Las Piedras, Madre de Dios-año 2016. Universidad Alas Peruanas, 2016.
12. **PIÑEIRO, X. F., AVE, M. T., MALLAH, N., CAAMANO-ISORNA, F., JIMÉNEZ, A. N. G., VIEIRA, D. N., et al.** Heavy metal contamination in Peru: implications on children's health. *Scientific Reports*, 11(1), 22729, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99443-3>
13. **HERRERA DELGADO, A. E., HEREDÍA QUISPE, E. G., CABREJOS, C. A.** Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón-Cajamarca en los meses de setiembre y diciembre, 2016. Universidad Lambayeque, Chiclayo-Perú, 2017.
14. **HUANTE, K. E. B.** Manganese intoxication: A case report/Intoxicación por Manganeso: Presentación de un caso clínico. *Red Investig en Salud en el Trabajo*, 3(S1), 46, 2020.
15. **FRIEDMAN, A., BOSELLI, E., OGNEVA-HIMMELBERGER, Y., HEIGER-BERNAYS, W., BROCHU, P., BURGESS, M., et al.** Manganese in residential drinking water from a community-initiated case study in Massachusetts. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 34(1), 58-67, 2024.
16. **SCHULLEHNER, J., THYGESEN, M., KRISTIANSEN, S. M., HANSEN, B., PEDERSEN, C. B., DALSGAARD, S.** Exposure to manganese in drinking water during childhood and association with attention-deficit hyperactivity

disorder: a nationwide cohort study. *Environmental Health Perspectives*, 128(9), 97004, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1289/EHP9704>

17. **MONTAÑO SAMANIENO, O. J.** Contaminación fluvial de la minería aurífera y sus efectos en peces de consumo local y comercial en la desembocadura del Río Santiago, Provincia de Esmeraldas. Plan de manejo socioambiental, 2014 (Año 2012).

18. **ALBENDEA RUIZ, F.** Tratamiento de efluentes mineros con ósmosis inversa: comparación de tecnologías con aplicación de energía solar, 2020.

19. **BURCIAGA-MONTEMAYOR, N. G., CLAUDIO-RIZO, J. A., CANO-SALAZAR, L. F., MARTÍNEZ-LUÉVANOS, A., VEGA-SÁNCHEZ, P.** Compósitos en estado hidrogel con aplicación en la adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales. *TIP Revista Especial en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 2020.

20. **MORENO-RIVAS, S. C., RAMOS-CLAMONT MONTFORT, G.** Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *Saccharomyces cerevisiae*. *TIP Revista Especial en Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 2018.

21. **FRISBIE, S. H., MITCHELL, E. J., DUSTIN, H., MAYNARD, D. M., SARKAR, B.** World Health Organization discontinues its drinking-water guideline for manganese. *Environmental Health Perspectives*, 120(6), 775–778, 2012.

22. **MINISTERIO DE SALUD (MINSA).** Decretos Supremos N° 031–2010–SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima, 2010. Disponible en: <https://siar.regioncajamarca.gob.pe/normas/ds-ndeg-031-2010-sa-apruebase-reglamento-calidad-agua-consumo-humano>

23. **MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM).** D.S. N° 004–2017–MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Perú, 10–9, 2017.

24. **CASTRO TORRES, Y. H.** Determinación de metales pesados en agua superficial de la mina de Dolores municipio de Madera Chihuahua, 2016.

25. **FIGUEROA, M. G. A., ROMERO, R. J., CISNEROS, M. G. V.** Aplicación de adsorbentes de origen vegetal en la remoción de colorantes en agua. *Inventión: La Génesis, la Cultura Universitaria en Morelos*, 15(37), 6, 2019.
26. **SÁNCHEZ, J. G. C., GÁMEZ, A. C., CASTILLO, N. A. M., GASPAS, A. L. R.** Remoción de aniones de soluciones acuosas sobre hidrogeles de quitosano reticulado con formaldehído. *Emerging Trends in Education*, 2(2), 23–36, 2018.
27. **VELÁSQUEZ, C. L.** Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avenida en Química*, 1(2), 15–21, 2006.
28. **GARCÍA-ROJAS, N., VILLANUEVA-DÍAZ, P., CAMPOS-MEDINA, E., VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, A.** Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 109–129, 2012.
29. **ALVAREZ OROSCOS, A., NEYRA CAMPOS, M.** Eficiencia de adsorción con quitosano para la remoción de Cd y Pb en lixiviados del botadero de Haquira, Cusco, 2023.
30. **CENTÓN LUNA, J. C. O.** Evaluación longitudinal de las concentraciones de metales pesados en ecosistemas marinos costeros en zonas con impacto antrópico utilizando Fluorescencia de Rayos X en sedimento marino del litoral de Ilo, Perú, 2023.
31. **GIRALDO, J.** Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano. *Applied Chitosan*, 2015.
32. **AL-WAKEEL, K. Z., ABD EL MONEM, H., KHALIL, M. M.** Removal of divalent manganese from aqueous solution using glycine modified chitosan resin. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, 179–186, 2015.
33. **WANG, C., SHI, C., SHI, F., CUI, Y., WANG, J., ZHANG, S., et al.** Chitosan aided polyaluminium ferric silicate (PAFS) coagulant for treatment of wool scouring wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 113662, 2024.
34. **KURNIAWAN, T. A., BATOOL, F., MOHYUDDIN, A., GOH, H. H., OTHMAN, M. H. D., AZIZ, F., et al.** Chitosan-coated coconut shell composite: A

solution for treatment of Cr (III)–contaminated tannery wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 105478, 2024.

35. **BEGUM, S., YUHANA, N. Y., SALEH, N. M., SHAIKH, Z.** Synthesis and application of fatty acid–modified chitosan for heavy metal remediation from wastewater. *Carbohydrate Polymers Technology and Applications*, 7, 100516, 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.100516>

36. **LI, R., CUI, J., LI, X., LI, X.** Phosphorus removal and recovery from wastewater using Fe–dosing bioreactor and cofermentation: investigation by X–ray absorption near–edge structure spectroscopy. *Environmental Science & Technology*, 52(24), 14119–14128, 2018.

37. **DAS, T., PATEL, D. K.** Efficient removal of cationic dyes using lemon peel–chitosan hydrogel composite: RSM–CCD optimization y estudios de adsorción. *International Journal of Biological Macromolecules*, 275, 133561, 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133561>

38. **ALI, M. E. A., ABOELFADL, M. M. S., SELIM, A. M., KHALIL, H. F., ELKADY, G. M.** Chitosan nanoparticles extracted from shrimp shells, application for removal of Fe (II) and Mn (II) from aqueous phases. *Separation Science and Technology*, 53(18), 2870–2881, 2018.

39. **LOPEZ CHAVEZ, M. H.** Evaluación de la capacidad de adsorción de un biocompuesto de cascarilla de arroz y quitosano para la remoción de cromo (VI), 2021.

40. **DELGADO MEDINA, K. B., MORENO ORE, C. J.** Evaluación de dosis del quitosano extraído del exoesqueleto Emerita analoga para adsorción de plomo en aguas contaminadas del Río Coata (Puno), 2021.

41. **CHOQUE SURCO, H. E., OVIEDO SALINAS, J. C.** Estudio de evaluación de bioadsorbentes (Quitina y Quitosano) para la remoción de las aguas con contenido de metales pesados, 2020.

42. **SANCHEZ IDROGO, E. M.** Adsorción de plomo en aguas subterráneas del distrito de Mórrope utilizando quitosano obtenido del exoesqueleto de langostino, 2020.

43. **DĄBROWSKI, A.** Adsorption—from theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science*, 93(1–3), 135–224, 2001.
44. **PÉREZ BOU, L., SALGADO BERNAL, I., LARREA DUARTE, C., MARTÍNEZ SARDINAS, A., CRUZ ARIAS, M. E., CARBALLO VALDÉS, M. E.** Biosorción microbiana de metales pesados: características del proceso. *Cuba Journal of Biological Sciences Cuba, Ciencias Biológicas*, 6(1), 2018.
45. **TEJADA–TOVAR, C., VILLABONA–ORTIZ, Á., GARCÉS–JARABA, L.** Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109–123, 2015.
46. **FLORES POLICARPO, M. A., GUTIERREZ CALERO, M. S.** Efecto del pH en la adsorción y desorción de Cromo (VI) mediante biocarbón aplicado en efluentes de la industria de Curtiembre, 2019.
47. **TREJO BUSTILLOS, P. R.** Uso de óxidos de Mn soportados en toba zeolítica para la descontaminación de aguas grises domiciliarias, 2023.
48. **PADRÓN, R., RODRÍGUEZ, C., GÓMEZ, A., GARCÍA, A., GONZÁLEZ, C. L.** El Carbón Activado, un material adsorbente. Universidad Matanzas “Camilo Cienfuegos”, 1, 16, 2013.
49. **LI, J., ZHUANG, X., QUEROL, X., FONT, O., MORENO, N.** A review on the applications of coal combustion products in China. *Coal Geology in China*, 141–186, 2020.
50. **NGUYEN, D.–K., DINH, V.–P., DANG, N. T., KHAN, D. T., HUNG, N. T., TRAN, N. H. T.** Effects of aging and hydrothermal treatment on the crystallization of ZSM–5 zeolite synthesis from bentonite. *RSC Advances*, 13(30), 20565–20574, 2023.
51. **PEÑALOZA, L., ROBERTSON, D.** Avances de las nanotecnologías como parte de una nueva plataforma tecnológica con capacidad para mejorar los métodos de tratamiento de aguas residuales, 2021.
52. **VALLADARES–CISNEROS, M. G., VALERIO–CÁRDENAS, C., DE LA CRUZ–BURELO, P., MELGOZA–ALEMÁN, R. M.** Adsorbentes no–convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas

residuales. *Revista de Ingeniería de la Universidad de Medellín*, 16(31), 55–73, 2017.

53. **MÉNDEZ, J. R. R., ALVAREZ, E. V., OROZCO, J. A. A., JIMÉNEZ, L. H. V.** Adsorbentes híbridos oxihidróxidos metálicos–carbón para remover contaminantes prioritarios del agua: fluoruro y arsénico. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, 36, 11–16, 2015.

54. **MARCO, T. M. G., MONJE, B.** MOFs o polímeros híbridos ultra–porosos como materiales adsorbentes: síntesis y aplicaciones. *Revista de Plásticos Modernos, Ciencia y Tecnología de los Polímeros*, 124(780), 4, 2022.

55. **DELGADO DELGADO, F. V.** Determinación de isothermas de adsorción, capacidad y la cinética de adsorción de la pepa de aceituna, en la adsorción de As. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2021.

56. **AYAWEI, N., EBELEGI, A. N., WANKASI, D.** Modelling and interpretation of adsorption isotherms. *Journal of Chemistry*, 2017(1), 3039817, 2017.

57. **NAZIR, M. A., BASHIR, M. A., NAJAM, T., JAVED, M. S., SULEMAN, S., HUSSAIN, S., et al.** Combining structurally ordered intermetallic nodes: Kinetic and isothermal studies for removal of malachite green and methyl orange with mechanistic aspects. *Microchemical Journal*, 164, 105973, 2021.

58. **JAVADIAN, H., TAGHAVI, M.** Application of novel Polypyrrole/thiol–functionalized zeolite Beta/MCM–41 type mesoporous silica nanocomposite for adsorption of Hg^{2+} from aqueous solution and industrial wastewater: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Applied Surface Science*, 289, 487–494, 2014.

59. **MUSAH, M., AZEH, Y., MATHEW, J. T., UMAR, M. T., ABDULHAMID, Z., MUHAMMAD, A. I.** Adsorption kinetics and isotherm models: a review. *CA Journal of Science and Technology*, 4(1), 20–26, 2022.

60. **MORALES CAS, A. M.** Simulación molecular del equilibrio de adsorción mediante el método de Monte Carlo, 2006.

61. **DEHBI, A., DEHMANI, Y., OMARI, H., LAMMINI, A., ELAZHARI, K., ABDALLAOUI, A.** Hematite iron oxide nanoparticles ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$): synthesis and

modelling adsorption of malachite green. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103394, 2020.

62. **EZZATI, R., EZZATI, S., AZIZI, M.** Exact solution of the Langmuir rate equation: New Insights into pseudo–first–order and pseudo–second–order kinetics models for adsorption. *Vacuum*, 220, 112790, 2024.

63. **PALATSI, J., VIÑAS, M., GUIVERNAU, M., FERNANDEZ, B., FLOTATS, X.** Anaerobic digestion of slaughterhouse waste: Main process limitations and microbial community interactions. *Bioresource Technology*, 102(3), 2219–2227, 2011. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.09.121>

64. **BROCHE–GALINDO, M. H., RODRÍGUEZ–RICO, I. L., VILLAR, M. M. P., PRIETO–GARCÍA, J. O.** Equilibrio y modelos cinéticos en la adsorción de azul de metileno sobre residuos agroindustriales. *Tecnología Química*, 42(3), 420–434, 2022.

65. **DAHIYA, D., PILLI, A., CHIRRA, P. R. R., SREERAMULA, V., MOGILI, N. V., AYOTHIRAMAN, S.** Morphological and structural characterization of chitin as a substrate for the screening, production, and molecular characterization of chitinase by *Bacillus velezensis*. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(57), 86550–86561, 2022.

66. **DIGVIJAY, D., SEENIVASAN, A.** Chitinases: Structure, Function, and Valorization of Marine Shell Waste. In *Enzymes in the Valorization of Waste* (pp. 157–186). CRC Press, 2022.

67. **ORMANCI, H. B., KÜNİLİ, İ. E., COLAKOĞLU, F. A.** Fish processing wastes: potential source of byproducts. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Bulgaria of Regions”*, 2019.

68. **BASEM, A., JASIM, D. J., MAJDI, H. S., MOHAMMED, R. M., AHMED, M., AL–RUBAYE, A. H., et al.** Adsorption of heavy metals from wastewater by chitosan: A review. *Results in Engineering*, 23, 102404, 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.reeng.2024.102404>

69. **RENAULT, F., SANCEY, B., BADOT, P.–M., CRINI, G.** Chitosan for coagulation/flocculation processes—an eco–friendly approach. *European Polymer Journal*, 45(5), 1337–1348, 2009.

70. **ALTAHER, H.** The use of chitosan as a coagulant in the pre-treatment of turbid sea water. *Journal of Hazardous Materials*, 233, 97–102, 2012.
71. **KE, C.-L., DENG, F.-S., CHUANG, C.-Y., LIN, C.-H.** Antimicrobial actions and applications of chitosan. *Polymers (Basel)*, 13(6), 904, 2021.
72. **KESHVARDOOSTCHOKAMI, M., MAJIDI, M., ZAMANI, A., LIU, B.** A review on the use of chitosan and chitosan derivatives as the bio-adsorbents for the water treatment: Removal of nitrogen-containing pollutants. *Carbohydrate Polymers*, 273, 118625, 2021.
73. **SHARIFI-RAD, J., QUISPE, C., BUTNARIU, M., ROTARIU, L. S., SYTAR, O., SESTITO, S., et al.** Chitosan nanoparticles as a promising tool in nanomedicine with particular emphasis on oncological treatment. *Cancer Cell International*, 21(1), 318, 2021.
74. **KOU, S. G., PETERS, L. M., MUCALO, M. R.** Chitosan: A review of sources and preparation methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 85–94, 2021.
75. **EL KNIDRI, H., BELAABED, R., ADDAOU, A., LAAJEB, A., LAHSINI, A.** Extraction, chemical modification and characterization of chitin and chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 1181–1189, 2018.
76. **DONG, W., TANG, J., CROPPOTOVA, J., SUN, D.-W., TIWARI, B. K.** Green technologies for bio-refinery in marine crustacean shell valorisation from chitin perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 150, 104580, 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104580>
77. **DUBEY, R., BAJPAI, J., BAJPAI, A. K.** Chitosan–alginate nanoparticles (CANPs) as potential nanosorbent for removal of Hg (II) ions. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 6, 32–44, 2016.
78. **HUANG, S.-H., CHEN, D.-H.** Rapid removal of heavy metal cations and anions from aqueous solutions by an amino-functionalized magnetic nano-adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 174–179, 2009.
79. **RAZZAZ, A., GHORBAN, S., HOSAYNI, L., IRANI, M., ALIABADI, M.** Chitosan nanofibers functionalized by TiO₂ nanoparticles for the removal of

heavy metal ions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58, 333–343, 2016.

80. **KIM, E.-J., LEE, C.-S., CHANG, Y.-Y., CHANG, Y.-S.** Hierarchically structured manganese oxide-coated magnetic nanocomposites for the efficient removal of heavy metal ions from aqueous systems. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5(19), 9628–9634, 2013.

81. **ŠIMAT, V., RATHOD, N. B., ČAGALJ, M., HAMED, I., GENERALIĆ MEKINIĆ, I.** Astaxanthin from crustaceans and their byproducts: a bioactive metabolite candidate for therapeutic application. *Marine Drugs*, 20(3), 206, 2022.

82. **DENG, J.-J., MAO, H.-H., FANG, W., LI, Z.-Q., SHI, D., LI, Z.-W., et al.** Enzymatic conversion and recovery of protein, chitin, and astaxanthin from shrimp shell waste. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122655, 2020.

83. **AL KHAWLI, F., MARTÍ-QUIJAL, F. J., FERRER, E., RUIZ, M.-J., BERRADA, H., GAVAHIAN, M., et al.** Aquaculture and its by-products as a source of nutrients and bioactive compounds. In *Advances in Food and Nutrition Research* (pp. 1–33). Elsevier, 2020.

84. **AZELEE, N. I. W., DAHIYA, D., AYOTHIRAMAN, S., NOOR, N. M., RASID, Z. I. A., RAMLI, A. N. M., et al.** Sustainable valorization approaches on crustacean wastes for the extraction of chitin, bioactive compounds and their applications – A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126492, 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126492>

85. **KENWORTHY, J. B., FORSTNER, U., WITTMAN, G. T. W.** Metal Pollution in the Aquatic Environment. *Journal of Ecology*, 68(2), 700, 1980.

86. **WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO).** Environmental health criteria 17: Manganese. Ginebra: WHO, 1981.

87. **DOISY JR, E. A.** Micronutrient controls on biosynthesis of clotting proteins and cholesterol, 1972.

88. **COUNCIL, N. R., EARTH, D., STUDIES, L., GEOLOGIES, C., CONTAMINANTS, C., DW.** Setting priorities for drinking water contaminants. *National Academies Press*, 1999.

89. **RAMIRES, Y. A., AYALA, R., AZCONA-CRUZ, M. I.** Efectos tóxicos del manganeso. *Revista Española de Medicina Quirúrgica*, 22, 71–76, 2017.
90. **LAMPREA GARCÍA, A. Y., MORENO CHAVARRO, K. M.** Extracción de lignina en pulpa de café para la remoción de manganeso en aguas residuales como contexto para el desarrollo de competencias investigativas a partir de la identificación de carbohidratos. Universidad Pedagógica Nacional, 2022.
91. **ESCARE LARA, C. C.** Caracterización física, química y mineralógica del tranque de relaves n° 1, ex-planta la cocinera, Región de Coquimbo, Provincia de Limarí, Chile, 2021.
92. **NEIRA, J. J. C., QUILLA, S. J. Q.** Evaluación de riesgo ambiental generado por pasivo ambiental minero en la calidad de agua superficial. *Natura @ Economía*, 5(1), 1–14, 2020.
93. **PRIMOST, J. E., PELOUSO, M. L., SASAL, M. C., BONETTO, C. A.** Humedales en acción: Su función en la remoción de contaminantes, 2022.
94. **ABDEL-KADER, A. M.** Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system. *Journal of King Saud University – Science*, 25(2), 89–95, 2013.
95. **MONTES HUACHACA, K. M., VÁSQUEZ EDQUÉN, N. R., HUAMANI MALLQUI, R. F.** Remoción de plomo en aguas sintéticas por adsorción de un lecho fijo de magnetita y zeolita, 2024.
96. **MENDOZA CERNA, M. P.** Evaluación de adsorción de Pb^{2+} en soluciones acuosas utilizando la Nanoarcilla (Bentonita) del distrito Ignacio Escudero–Sullana, 2018.
97. **CERCEDO CAJAS, D. L.** Uso del quitosano comercial y el obtenido de pluma de pota (*Dosidicus gigas*) para la adsorción de cobre (Cu) en aguas contaminadas de la Cuenca Baja del Río Chillón a nivel laboratorio, Lima, 2018.
98. **MONTOYIA MONTOYIA, J.** Modelamiento del proceso de eliminación de manganeso soluble del agua, a través de lechos filtrantes recubiertos naturalmente con óxidos, 2009.

99. **GARCES JARABA, L. E., COAVAS ROMERO, S. C.** Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales, 2012.
100. **MONTENEGRO ARTEAGA, C. L., CHAUPIS FONSECA, J.** Influencia de la densidad de corriente y tiempo de exposición en la solución electrolítica de cromado duro sobre el espesor y dureza alcanzados en un acero AISI 1060, 2018.
101. **VAKILI, M., DENG, S., CAGNETTA, G., WANG, W., MENG, P., LIU, D., et al.** Regeneration of chitosan-based adsorbents used in heavy metal adsorption: A review. *Separation and Purification Technology*, 224, 373–387, 2019.
102. **ÑAUPAS, H., MEHÍA, E., NOVOA, E., VILLAGÓMEZ, A.** Metodología de la investigación Cuantitativa–cualitativa y redacción de la Tesis. 4ª ed. Ediciones de la U, Bogotá, 2014.

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de consistencia.

Tabla 16
Matriz de consistencia

TÍTULO: “ADSORCIÓN CON QUITOSANO PARA LA REMOCIÓN DE MANGANESO EN SOLUCIONES ACUOSAS A NIVEL DE LABORATORIO”

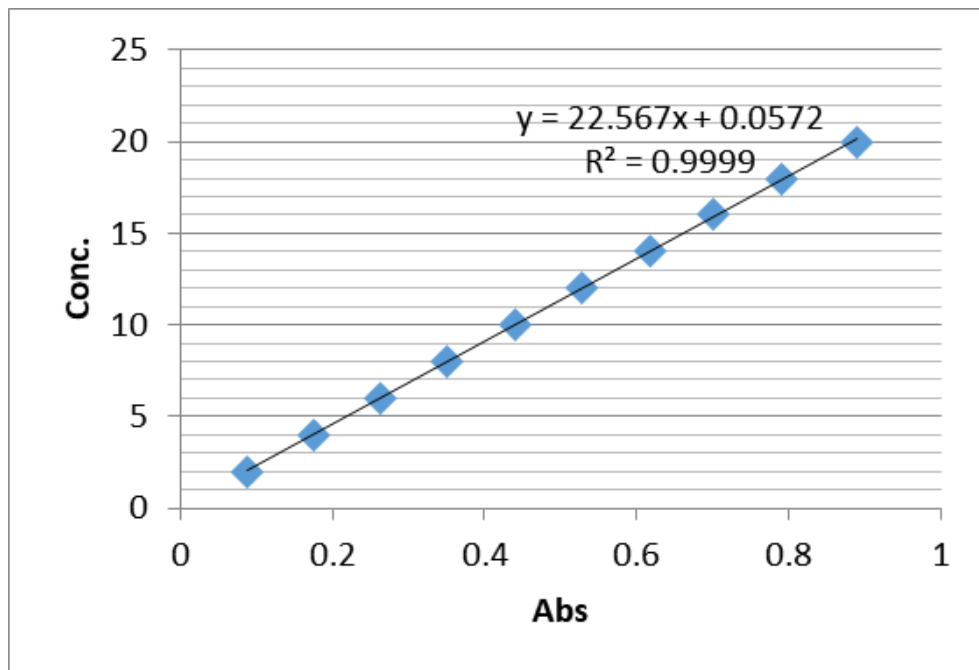
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES DEPENDIENTE	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL				
¿Cuál será el efecto de la adsorción con quitosano sobre la remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio?	Evaluar el efecto de la adsorción con quitosano sobre la remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.	La adsorción con quitosano a nivel laboratorio permite reducir el contenido del manganeso en soluciones acuosas.	Y = Remoción de manganeso	Eficiencia de remoción	Porcentaje	Investigación aplicada, cuantitativa, diseño experimental
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS	INDEPENDIENTES	DIMENSIÓN	INDICADORES	
¿Cuál será el efecto de la concentración de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel de laboratorio?	Determinar el efecto de la concentración de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.	La concentración de quitosano tiene un efecto significativo sobre la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel de laboratorio.	X ₁ = Concentración de quitosano	Masa de quitosano añadida por unidad de volumen.	g/L	
¿Cuál será el efecto de la velocidad de agitación de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio?	Determinar el efecto de la velocidad de agitación de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.	La velocidad de agitación de quitosano tiene un efecto significativo en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio	X ₂ = Velocidad de agitación	Velocidad de agitación	Rpm	
¿Cuál será el efecto del tipo de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio?	Determinar el efecto del tipo de quitosano en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.	El tipo de quitosano tendrá un efecto significativo en la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.	X ₃ = Tipo de quitosano	Tipo de quitosano	adimensional	X → Y(x)
¿En qué medida se relaciona el tiempo de adsorción de quitosano y el aumento de la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio?	Determinar la relación entre el tiempo de adsorción de quitosano y el aumento de la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.	Existe una relación positiva fuerte entre el aumento de tiempo de adsorción de quitosano y el aumento de la eficiencia de remoción de manganeso en soluciones acuosas a nivel laboratorio.	X ₄ = Tiempo de adsorción	Tiempo de adsorción	Horas	

Anexo 2

Curva patrón en espectrofotómetro para el Mn^{2+}

Muestra	Concentración (ppm)	Absorbancia
1	2	0.088
2	4	0.176
3	6	0.263
4	8	0.351
5	10	0.44
6	12	0.529
7	14	0.617
8	16	0.702
9	18	0.792
10	20	0.891

Grafica de curva patrón



Anexo 3

Informe de ensayo del FT-IR del quitosano



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS
S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3315

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GABRIELA LEVANO CUSI
1.2 RUC o DNI : 10477852101
1.3 Dirección : No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : MUESTRA EN POLVO
2.2 Muestreado por : CLIENTE (K)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-11-07
2.5 Período de Ensayo : 2024-11-07 al 2024-11-12
2.6 Fecha de Emisión : 2024-11-14
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-154950-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO – METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Caracterización de materiales por Análisis de Espectroscopía Infrarroja FTIR-ATR	ASTM E1252 Práctica estándar para técnicas generales de obtención de espectros infrarrojos para análisis cualitativo

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: POLVO (K)

Integrantes: VICTOR ANDRES BACA BELLIDO

DAYANNA LUZ HUARI SUAREZ

GABRIELA LEVANO CUSI

Título de Tesis: ADSORCIÓN CON QUITOSANO PARA LA REMOCIÓN DE MANGANESO EN SOLUCIONES ACUOSAS A NIVEL DE LABORATORIO (K)

DIEGO BOHIANO ESCOBEDO D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA (FTIR-ATR)

- Normas de Referencia: ASTM E1252 "Práctica estándar para técnicas generales para obtener espectros infrarrojos para análisis cualitativo".
- Equipo Utilizado: Espectrofotómetro Infrarrojo -Perkin Elmer
- Software: Perkin Elmer Spectrum 10
- Rango de Prueba: Intervalo de número de onda 380 cm⁻¹ a 4000 cm⁻¹

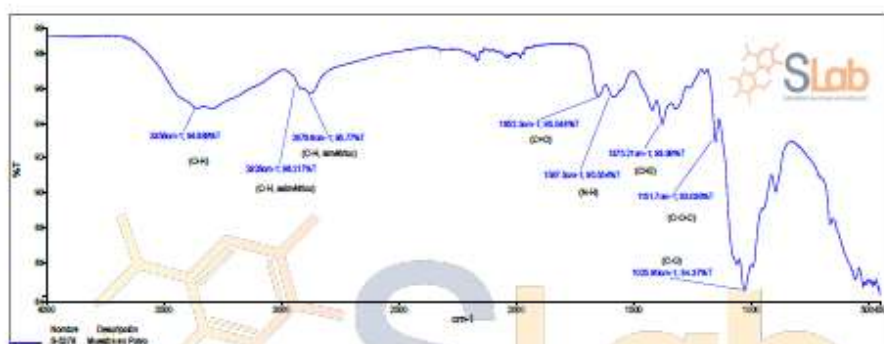


Figura N°1: ESPECTROS FTIR-ATR DE LA MUESTRA

Tabla N°1: IDENTIFICACIÓN DE LOS GRUPOS FUNCIONALES DEL FTIR DE LA MUESTRA

Tipo de Vibración	Grupo funcional	Rango Teórico (cm ⁻¹)	Resultado experimental (cm ⁻¹)
Banda de vibración de tensión	"O-H"	3450-2990	3356
Banda de vibración de tensión	"C-H, asimétrico"	2975-2840	2928
Banda de vibración de tensión	"C-H, simétrico"	2975-2840	2878
Banda de vibración de tensión	"C=O"	1680-1630	1652
Banda de vibración de tensión	"N-H"	3500-3180	1587
Banda de vibración de flexión	"CH ₂ "	1400-1340	1375
Banda de vibración de tensión	"C-O-C"	1190-1130	1151
Banda de vibración de tensión	"C-O"	1070-910	1025

Comentarios:

- Para el ensayo de caracterización por FTIR de la muestra S-5378 se encontraron los picos característicos de enlace OH, CH, C=O, NH, CH₂, COC, CO, que están presentes en estructuras de un quitosano.

Leyenda.

^(C) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.



Anexo 4

Data base

Tipo de Quitosano	Peso (g)	Velocidad de agitación (Rpm)	Tiempo (h)	Absorbancia	Concentración de Mn+2 en solución	% Remoción
Quitosano Comercial	0		0	0,800	18,11	0,00
	20	200	3	0,694	15,72	13,21
	30	200	3	0,664	15,04	16,95
	40	200	3	0,570	12,92	28,66
	20	150	3	0,680	15,40	14,95
	30	150	3	0,616	13,96	22,93
	40	150	3	0,590	13,37	26,17
	20	100	3	0,671	15,20	16,07
	30	100	3	0,639	14,48	20,06
	40	100	3	0,586	13,28	26,67
Quitosano experimental	0		0	0,795	18,00	0,00
	20	200	3	0,650	14,73	18,18
	30	200	3	0,628	14,23	20,94
	40	200	3	0,536	12,15	32,48
	20	150	3	0,642	14,55	19,18
	30	150	3	0,598	13,55	24,70
	40	150	3	0,556	12,60	29,97
	20	100	3	0,640	14,50	19,43
	30	100	3	0,613	13,89	22,82
	40	100	3	0,547	12,40	31,10