



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**Efecto de la dosis y tiempo de contacto de cáscara de
naranja (*Citrus sinensis*) en la
adsorción de nitratos de aguas subterráneas del Distrito de
Ferreñafe**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR

Bach. Oscar Raul Benavides Morante

ASESOR

Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú – ORCID 0000-0003-2052-6707

Lambayeque – Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**Efecto de la dosis y tiempo de contacto de cáscara de
naranja (*Citrus sinensis*) en la
adsorción de nitratos de aguas subterráneas del Distrito de
Ferreñafe**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

Aprobado por el siguiente jurado:

Dr. CARLOS REINERIO ARCE CRUZADO
Presidente

Dr. ANGEL WILSON MERCADO SEMINARIO
Secretario

Dra. ADA PATRICIA BARTUREN QUSIPE
Vocal

Dr. CESAR AUGUSTO MONTEZA ARBULU
Asesor

Lambayeque – Perú

2026



ACTA DE SUSTENTACIÓN - 2026

Siendo las 10:30 am del jueves 15 de enero del 2026, se reunieron en la sala de sustentación de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias los miembros del jurado evaluador de la Tesis Titulada: **Efecto de la dosis y tiempo de contacto de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) en la adsorción de nitratos de aguas subterráneas del Distrito de Ferreñafe**; designados con Res. N°N°674-2024-D-FIQIA de fecha 11 diciembre del 2024 y aprobada con Res. N°214-2025-D-FIQIA de fecha 12 de junio del 2025, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformados por los siguientes docentes:

- **Presidente:** Dr. Carlos Reinerio Arce Cruzado
- **Secretario:** Dr. Angel Wilson Mercado Seminario
- **Vocal:** Dra. Ada Patricia Barturen Quispe

La tesis fue asesorada por el Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu, nombrado con Res. N°467-2024-D-FIQIA de fecha 27 de setiembre del 2024. El acto de sustentación es autorizado con Res. N°002-2026-D-FIQIA de fecha 12 de enero del 2026.

La Tesis fue presentada y sustentada por el Bachiller: **OSCAR RAUL BENAVIDES MORANTE; de la Escuela Profesional de Ingeniería Química** y tuvo una duración de 30 minutos.

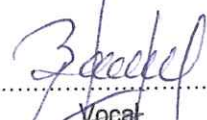
Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el calificativo de 18 (Dieciocho) en la escala vigesimal, mención Muy bueno.

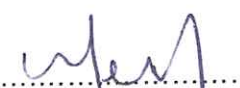
Por lo que queda APTO para obtener el Título Profesional de **INGENIERO QUIMICO** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

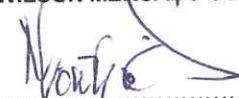
Siendo las 11:15 se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Firmas


.....
Presidente
Dr. CARLOS REINERIO ARCE CRUZADO


.....
Vocal
Dra. ADA PATRICIA BARTUREN QUISPE


.....
Secretario
Dr. ANGEL WILSON MERCADO SEMINARIO


.....
Asesor
Dr. CESAR AUGUSTO MONTTEZA ARBULU

CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD

Yo Cesar Augusto Monteza Arbulú usuario revisor de Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ y/o Trabajo Académico ☐ Titulado: Efecto de la dosis y tiempo de contacto de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) en la adsorción de nitratos de agua subterránea del Distrito de Ferreñafe. Cuyo autor (es) son: Oscar Raul Benavides Morante; con DNI N° 71464545 declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud 8%, verificables en el Resumen del Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito (a) analizó reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos,

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 03 de octubre del 2025



.....
Firma (Asesor)

Nombres y Apellidos: Cesar Augusto Monteza Arbulú

DNI: 16681280

Defina la modalidad con (X)

Adjunta:

Resumen de Reporte automatizado de similitudes

Recibo digital

INFORME FINAL OSCAR BENAVIDES

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

1%

2

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.unprg.edu.pe:8080

Fuente de Internet

<1%

5

dspace.espoch.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

6

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

A Escáñez, R Riera, L Márquez, A Skalli, BC Felipe, I García-Herrero, D Reis, C Rodríguez, E Almansa. "A general survey of the feasibility of culturing the mysid *Gastrosaccus roscoffensis* (Peracarida, Mysida): Growth, survival, predatory skills, and lipid composition", Ciencias Marinas, 2012

Publicación

<1%

9

Marón Mamani, Carmen Natalia.

"Bioadsorción de As y Pb de aguas del río Crucero - sector Progreso empleando cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) como

<1%

César Augusto Monteza Arbulú
DNI: 16681280

bioadsorbente", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

10	repositorio.ulc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante	<1 %
14	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
15	Adauto Ureta, Anais Elena. "Evaluacion de la capacidad de adsorcion de las arcillas organofilicas para la adsorcion de nitratos y nitritos en soluciones acuosas", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2021 Publicación	<1 %
16	inba.info Fuente de Internet	<1 %
17	www.amqa.org.mx Fuente de Internet	<1 %
18	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
19	practicaestadisticas.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
20	rraae.cedia.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
21	pubmed.ncbi.nlm.nih.gov Fuente de Internet	<1 %



César Augusto Monteza Arbulú
DNI: 16681280

22 José Alfredo Hernández Maldonado, Carolina Elizabeth Ceballos Aguilera, María Mercedes Salazar Hernández, Alba Nelly Ardila Arias et al. "Evaluation of orange peel (Citrus sinensis) as a source of bioactive components and its use as a bioadsorbent", Desalination and Water Treatment, 2021
Publicación

23 agris.fao.org
Fuente de Internet

24 repositorioinstitucional.uaslp.mx
Fuente de Internet

25 Juan Manuel Carricondo Antón. "Utilización de residuos vegetales para la eliminación de fósforo en aguas residuales mediante procesos de adsorción", Universitat Politecnica de Valencia, 2020
Publicación

26 de.slideshare.net
Fuente de Internet

27 docplayer.net
Fuente de Internet

28 repositorio.unsaac.edu.pe
Fuente de Internet

29 repositorio.uwiener.edu.pe
Fuente de Internet

30 Submitted to Universidad Privada del Norte
Trabajo del estudiante

31 editorial.inudi.edu.pe
Fuente de Internet

32 repositorio.unsch.edu.pe
Fuente de Internet

33 www.bdigital.unal.edu.co



César Augusto Monteza Arbulú
DNI: 16681280

Fuente de Internet

<1 %

34

www.virtualpro.co

Fuente de Internet

<1 %

35

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

36

repositorio.untrm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

37

Submitted to Universidad Nacional Pedro
Henríquez Ureña

Trabajo del estudiante

<1 %

38

Submitted to Universidad Nacional de Itapúa

Trabajo del estudiante

<1 %

39

ciqa.repositorioinstitucional.mx

Fuente de Internet

<1 %

40

riucv.ucv.es

Fuente de Internet

<1 %



César Augusto Monteza Arbulú
DNI: 16681280

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: CESAR AUGUSTO MONTEZA ARBULU
Título del ejercicio: REVISION 1
Título de la entrega: INFORME FINAL OSCAR BENAVIDES
Nombre del archivo: Informe_Final_-_Terminado.docx
Tamaño del archivo: 11.96M
Total páginas: 82
Total de palabras: 14,776
Total de caracteres: 77,918
Fecha de entrega: 04-oct-2025 12:42p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2413204700

Cesar Augusto Monteza Arbulu
DNI: 16681280



UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

Efecto de la dosis y tiempo de contacto de cáscara de
naranja (*Citrus sinensis*) en la
adsorción de nitratos de aguas subterráneas del Distrito de
Ferreñafe

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO

AUTOR

Bach. Oscar Raúl Benavides Morante

ASESOR

Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu

Lambayeque – Perú

2025

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi mamá, Lourdes Morante Becerra por su amor incondicional y por ser mi mayor inspiración. A mi padre Oscar Benavides López por su esfuerzo y ejemplo de perseverancia. A mis hermanos Leonardo Benavides Morante y Martin Benavides Morante por acompañarme en cada etapa de mi vida y darme siempre su apoyo. A mi novia Cielo Niño Ramírez por su paciencia y aliento en los momentos difíciles.

Esta tesis va dedicada a mi abuelo Raúl Morante Tello cuya memoria y enseñanzas viven en mí y que yo sé que desde el cielo me cuida.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por siempre cuidarme y darme fortaleza cuando hay algún obstáculo para poder superarlo. Agradezco a mis padres Lourdes Morante Becerra y Oscar Benavides López, a mis hermanos Martin Benavides Morante y Leonardo Benavides Morante, a mi novia Cielo Niño Ramírez y amigos que me apoyaron para realizar este trabajo. Agradezco a mi asesor Dr. Cesar Monteza Arbulú por su guía y compañía en este camino.

Finalmente a todos los docentes e instituciones que me ayudaron a realizar este trabajo, mi más sincero agradecimiento a todos ustedes.

Índice

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Capítulo I: Diseño teórico	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Bases teóricas	19
1.2.1 Agua subterránea.....	19
1.2.2 Contaminantes de las aguas subterráneas.....	20
1.2.3 Origen de los nitratos en el agua	20
1.2.4 Efectos en la salud.....	21
1.2.5 Tecnologías para remoción de nitratos.....	21
1.2.6 Adsorción.	22
1.2.7 Factores que afectan la adsorción.....	22
1.2.8 Mecanismo de adsorción de nitratos.	25
1.2.9 Bioadsorción.....	26
1.2.10 Naranja.	27
1.3 Operacionalización de variables.....	30
1.4 Hipótesis.	30
Capítulo II: Diseño metodológico	31
2.1 Localización de la investigación.....	31
2.2 Población y muestra	31
2.2.1 Población.....	31
2.2.2 Muestra.....	31
2.3 Materiales, equipos y reactivos	31

2.3.1	Materiales.....	31
2.3.2	Reactivos.....	32
2.3.3	Equipos.....	32
2.4	Metodología de la investigación.....	33
2.5	Obtención del bioadsorbente para el estudio de adsorción.....	35
2.5.1	Recepción.....	35
2.5.2	Lavado, pelado y cortado	36
2.5.3	Lavado y secado.....	36
2.5.4	Pulverizado.....	38
2.5.5	Tamizado.....	38
2.6	Análisis fisicoquímico y determinación de pectina del bioadsorbente.....	40
2.7	Determinación de grupos funcionales	40
2.8	Análisis fisicoquímico al agua subterránea del Distrito de Ferreñafe	40
2.9	Estudio de la adsorción de nitratos	41
2.10	Análisis de resultados	42
Capítulo III: Resultados		43
3.1	Caracterización del bioadsorbente	43
3.1.1	Análisis fisicoquímico y determinación de pectina.....	43
3.1.2	Obtención de grupos funcionales	45
3.2	Caracterización del agua subterránea	47
3.2.1	Análisis fisicoquímico del agua subterránea	47
3.3	Estudio de adsorción de nitratos.....	49
3.3.1	Ensayos de adsorción de nitratos utilizando pH 5.5.....	49
3.3.2	Ensayos de adsorción de nitratos utilizando pH 6.5.....	51
3.4	Análisis estadístico	53

Capítulo IV: Discusiones	60
Capítulo V: Conclusiones.....	67
Capítulo VI: Recomendaciones	69
Capítulo VII: Referencias.....	72
Capítulo VIII: Anexos.....	76

Índice de figuras

Figura 1 Posibles sitios de adsorción de nitratos y su mecanismo correspondiente	26
Figura 2 Partes de la naranja	28
Figura 3 Etapas de la metodología de la investigación	33
Figura 4 Naranja Huando (Citrus Sinensis)	35
Figura 5 Lavado de naranjas, pelado y cortado de la cáscara	36
Figura 6 Lavado de cáscara con agua desionizada.....	37
Figura 7 Secado en estufa de la cáscara.....	37
Figura 8 Pulverizado de la cáscara.....	38
Figura 9 Tamizado y clasificación por mallas de la cáscara.....	39
Figura 10 pH del bioadsorbente	43
Figura 11 Pectina obtenida húmeda y seca	44
Figura 12 Determinación de humedad y densidad aparente	44
Figura 13 Espectro FTIR del bioadsorbente de cáscara de naranja	45
Figura 14 Turbidez y conductividad del agua subterránea	48
Figura 15 pH del agua subterránea.....	48
Figura 16 Gráfico de adsorción de nitratos por dosis y tiempo de contacto a pH 5.5	50
Figura 17 Gráfico de adsorción de nitratos por dosis y tiempo de contacto a pH 6.5	52
Figura 18 Gráfico Q-Q plot para evaluar normalidad de resultados obtenidos a pH 5.5.....	54
Figura 19 Gráfico de barras de los grupos homogéneos en Tukey HSD	59
Figura 20 Gráfico Q-Q plot para evaluar normalidad de resultados a pH 6.5	61
Figura 21 Grupos homogéneos de dosis en la prueba de Tukey HSD.....	65
Figura 22 FTIR de bioadsorbentes de cáscara de naranja.....	67
Figura 23 Tamizado a malla 200 del bioadsorbente.....	76

Figura 24 Medición de pH del bioadsorbente	76
Figura 25 pH del agua para extracción de pectina	77
Figura 26 Extracción ácida de la pectina	77
Figura 27 Precipitación de pectina con etanol	77
Figura 28 Filtrado al vacío de la pectina.....	77
Figura 29 Toma de muestra de agua en el pozo 2 en Ferreñafe.....	77
Figura 30 Reactivos para medición de nitratos marca HANNA.....	77
Figura 31 Aplicación del bioadsorbente y corrida de blanco.....	77
Figura 32 Aplicación del bioadsorbente con tres réplicas	77
Figura 33 Centrifugado de muestras	77
Figura 34 Dilución y filtrado de las muestras	77
Figura 35 Muestra filtrada y sin filtrar	77
Figura 36 Medición de nitratos en el fotómetro HANNA HI83399	77

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	30
Tabla 2 Diseño de contrastación de hipótesis	34
Tabla 3 Resultados de análisis fisicoquímico y porcentaje de pectina del bioadsorbente	43
Tabla 4 Resultados de análisis fisicoquímico al agua subterránea.....	47
Tabla 5 Resultados generales del proceso de adsorción de nitratos a pH 5.5	49
Tabla 6 Resultados generales del proceso de adsorción a pH 6.5.....	49
Tabla 7 Resultados de adsorción de nitratos a pH 5.5	50
Tabla 8 Resultados de adsorción de nitratos a pH 6.5	51
Tabla 9 Cálculos para obtener residuos y cuantiles teóricos.....	53
Tabla 10 Cálculos con las desviaciones para la prueba de Levene	55
Tabla 11 Resultado de la prueba de Levene.....	56
Tabla 12 ANOVA al 95% de confianza de dos factores a los resultados	56
Tabla 13 Cuadro de comparaciones múltiples Tukey HSD	57
Tabla 14 Grupos homogéneos de las combinaciones de dosis y tiempo de contacto	58
Tabla 15 Cálculo de residuos y cuantiles teóricos	60
Tabla 16 Cálculos con las desviaciones para la prueba de Levene	62
Tabla 17 Resultado de la prueba de Levene.....	62
Tabla 18 ANOVA de dos factores a los resultados.....	63
Tabla 19 Comparativo de dosis en la prueba de Tukey HSD.....	64
Tabla 20 Grupos homogéneos de la prueba de Tukey HSD	65

Resumen

Las aguas subterráneas son una fuente esencial de agua potable, especialmente en zonas rurales con escasez del recurso. No obstante, actividades como la agricultura contribuyen a su contaminación, principalmente por el uso excesivo de fertilizantes que, mediante la lixiviación, alcanzan los acuíferos. En el distrito de Ferreñafe, Lambayeque, se han reportado casos de contaminación de aguas subterráneas. Aunque inicialmente se sospechaba la presencia de metales pesados, un informe de EPSEL descartó esta posibilidad, señalando en cambio que los niveles de nitratos, sulfatos y cloruros superan los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 031-2010.

La presente investigación se centró en la adsorción de nitratos de estas aguas utilizando a la cáscara de naranja como bioadsorbente y se llevó a cabo en los laboratorios de química analítica y de investigación de la facultad de ingeniería química e industrias alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo teniendo como objetivo general determinar el efecto de la dosis y tiempo de contacto de la cáscara de naranja en la adsorción de nitratos del agua subterránea del Distrito de Ferreñafe. Como resultados se obtuvo, a pH 5.5 una máxima adsorción de nitratos del 56,22% con 25 g/L y 60 minutos de tiempo de contacto y a pH 6.5 un 82,55% con 25 gr/L a 20 minutos demostrando que la cáscara de naranja como bioadsorbente puede adsorber nitratos de aguas subterráneas.

Palabras clave: bioadsorbente, adsorción, nitratos, cáscara de naranja

Abstract

Groundwater is an essential source of drinking water, particularly in rural areas where water scarcity is a persistent issue. However, activities such as agriculture contribute to its contamination, mainly due to the excessive use of fertilizers, which reach aquifers through leaching processes. In the district of Ferreñafe, located in the Lambayeque region, cases of groundwater contamination have been reported. Although the presence of heavy metals was initially suspected, a report issued by EPSEL ruled this out, indicating instead that the concentrations of nitrates, sulfates, and chlorides exceed the maximum permissible limits established by Supreme Decree No. 031-2010.

This research focused on the adsorption of nitrates from groundwater using orange peel as a bioadsorbent. The experimental work was carried out in the Analytical Chemistry and Research Laboratories of the Faculty of Chemical Engineering and Food Industries at the National University Pedro Ruiz Gallo. The main objective was to determine the effect of adsorbent dose and contact time of orange peel on nitrate adsorption from groundwater in the district of Ferreñafe. The results obtained at pH 5.5 were a maximum nitrate adsorption of 56.22% with 25 g/L and 60 minutes of contact time and at pH 6.5 82.55% with 25 g/L at 20 minutes, demonstrating that orange peel as a bioadsorbent can adsorb nitrates from groundwater.

Keywords: bioadsorbent, adsorption, nitrates, orange peel

Introducción

El agua subterránea se ha convertido en una fuente importante de agua potable con la finalidad de satisfacer las necesidades humanas, en el consumo, en actividades en las zonas rurales, urbanas y en el sector agrícola (Calixto et al., 2022). Las aguas subterráneas proporcionan aproximadamente la mitad del agua potable en todo el mundo y se estima que un tercio de la población mundial dependen únicamente de este recurso (Grönwall & Danert, 2020). El interés en estas fuentes de agua ha venido creciendo debido al incremento de su uso cada año y la mayoría de las investigaciones se centran en los problemas de calidad del agua, debido a que presentan contaminación comúnmente por causas antropogénicas o por causas naturales (Oscoco, 2020).

Entre las causas antropogénicas de contaminación de estas fuentes de agua está la infiltración de nitratos, los cuales son utilizados en la agricultura. Esta es una causa grave de contaminación de las fuentes en distritos de alta productividad agrícola (Aqua, 2021).

Los iones nitrato en el agua representan la especie de nitrógeno más estable, oxidada y con mayor movilidad. Usualmente son provenientes de fuentes externas al acuífero. La presencia de nitratos en las aguas subterráneas constituye una de las amenazas ambientales más importantes en el mundo y despierta el interés de numerosos investigadores ya que es la fuente principal de agua potable para aproximadamente dos mil millones de personas y es utilizada en el riego agrícola para aproximadamente el 40% de la producción de alimentos a nivel mundial (Richa et al., 2022). La elevada concentración de nitrato en las fuentes de agua es una amenaza potencial a la salud pública ya que causa una enfermedad llamada metahemoglobinemia; la OMS estipuló el límite máximo permisible de nitratos a 50 mg/L (Liu et al., 2022).

En el continente americano se evaluaron once países y se determinó que Brasil reportó un valor promedio superior a los 50 ppm, sin embargo, estos resultados hacen referencia principalmente a fosas sépticas y descarga de aguas residuales. En otros países como Argentina, Chile, Estados Unidos y Colombia no se evidencia contaminación de nitratos ya que presentan concentraciones dentro del límite de la OMS. No obstante, en algunas regiones de México y Bolivia se han reportado valores que superan los 50 ppm llegando algunas muestras a estar por encima de los 200 ppm (Abascal et al., 2022).

En Perú, en la provincia de Ferreñafe, hay reportes de niveles altos de nitratos en el agua subterránea distribuida a los pobladores; la concentración de nitratos actualmente se estima que es próxima al límite recomendado por la OMS. Epsel, en el año 2022, emitió el informe 132-2022 en donde, si bien especificó que el agua de los pozos en Ferreñafe no presentaba contaminación por metales pesados, afirmaron que los parámetros como los nitratos, cloruros, sulfatos y sodio superaban el límite máximo establecido en el decreto supremo 031-2010 (Cabrera, 2024).

La remoción de nitratos se puede realizar utilizando diferentes métodos, como lo son: la extracción por membrana, la precipitación, separación electroquímica, entre otros. No obstante, los inconvenientes de estos métodos son los altos costos operativos y de mantenimiento, su complejidad y la generación de lodos peligrosos. En cambio, el proceso de adsorción, ha demostrado ser atractivo para contrarrestar estos inconvenientes. Se ha explorado la utilización de adsorbentes biológicos y naturales (bioadsorbentes) de bajo costo, los cuales constituyen algas, hongos, desechos de animales, residuos agrícolas y forestales (Ang et al., 2021).

Los residuos de la naranja están conformados por la cáscara y pulpa seca después de haber sido tamizada, estos residuos están compuestos por celulosa, lignina, hemicelulosa y otros compuestos de bajo peso molecular. Se conoce que, la cáscara de naranja, es un residuo agroindustrial que posee propiedades adsorbtivas y se ha utilizado en el proceso de adsorción demostrando ser uno de los mejores bioadsorbentes para la remoción de nitratos gracias a que es un proceso rápido y rentable (Dey et al., 2021).

La presente investigación se realiza con la finalidad de evaluar nuevas tecnologías para el tratamiento de agua subterránea, ya que este recurso constituye una fuente ampliamente utilizada y accesible, especialmente en zonas rurales donde suele haber escasez de agua potable. El proceso de adsorción se presenta como una alternativa de bajo costo, utilizando nuevos bioadsorbentes elaborados a partir de residuos agrícolas. Estos bioadsorbentes prometen no solo mejorar la calidad del agua destinada al abastecimiento, sino también contribuir a la solución de un problema de salud pública.

Es por ello que se formula el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es efecto de la dosis y tiempo de contacto de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) en la adsorción de nitratos de aguas subterráneas del Distrito de Ferreñafe? Teniéndose como objetivo general: Determinar el efecto de la dosis y tiempo de contacto de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) en la adsorción de nitratos

de aguas subterráneas del Distrito de Ferreñafe y como objetivos específicos: Realizar un pretratamiento a la cáscara de naranja para obtener el bioadsorbente, evaluar el efecto de la dosis de bioadsorbente en el porcentaje de adsorción de nitratos, evaluar el efecto del tiempo de contacto de bioadsorbente en el porcentaje de adsorción de nitratos, analizar el efecto conjunto de la dosis y tiempo de contacto del bioadsorbente en el porcentaje de adsorción y evaluar el efecto del pH del agua en el porcentaje de adsorción. Se espera que la cáscara de naranja como bioadsorbente influya significativamente en la remoción de nitratos del agua subterránea del distrito de Ferreñafe destinada para el consumo humano.

Capítulo I: Diseño teórico

1.1 Antecedentes

Dey et al. (2022) en su investigación realizada en el Colegio de Ingeniería Gudlavalleru, Andhra Pradesh, India, evaluaron cinco biosorbentes diferentes (cáscaras de naranja, residuos de té, fibra de coco, cáscaras de plátano y maíz) para adsorber nitrato de soluciones acuosas. Los adsorbentes se caracterizaron mediante FTIR (espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier), SEM (Microscopía electrónica de barrido), XRD (Difracción de rayos X) y el método BET. El análisis de nitrato se realizó mediante un kit colorimétrico. Las variables que se optimizaron fueron la dosis de bioadsorbente, pH, temperatura y velocidad de agitación. Como resultados, con 20 gr/L de dosificación, se obtuvieron porcentajes de remoción de nitrato de 100% (cáscara de naranja), 95% (fibra de coco), 75% (residuos de té), 65% (cáscara de plátano), 60% (maíz), el tiempo óptimo fue de 60 minutos, la velocidad óptima de agitación fue 60 rpm, la remoción de nitratos disminuyó significativamente al pasar los 30°C, el pH óptimo fue 6 y al aumentar se estabilizó la remoción. Concluyeron que la cáscara de naranja fue el adsorbente más eficiente para la remoción de nitratos.

Shahaji et al. (2023) en su investigación realizada en la Universidad Shivaji, Kolhapur, India, analizaron la adsorción de nitratos de soluciones acuosas mediante bioadsorbentes de cáscara de naranja y paja de trigo. El análisis de nitrato se realizó mediante el método de brucina utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 520 nm. Las variables que se optimizaron fueron la concentración inicial de nitratos, dosis de adsorbente y tiempo de contacto. Como resultados, obtuvieron porcentajes máximos de remoción de 81,3% (cáscara de naranja) y 55,3% (paja de trigo) ambos con dosificaciones de 30 g/L a 3 horas. La remoción de nitratos aumentó con la dosis del adsorbente y el tiempo de agitación. Se encontró que la eficiencia de eliminación es mayor a altas concentraciones iniciales. Concluyeron que la cáscara de naranja y la paja de trigo fueron eficientes para la adsorción de nitratos.

Dey et al. (2021) en su investigación realizada en el Colegio de Ingeniería Gudlavalleru, Andhra Pradesh, India, evaluaron la cáscara de naranja como bioadsorbente de nitratos y amoníaco de soluciones sintéticas. Los adsorbentes se caracterizaron mediante FTIR, SEM, XRD y el método BET. El análisis de nitratos y amoníaco se realizó mediante un kit

colorimétrico y se optimizó la dosis de bioadsorbente. Como resultados, en las imágenes SEM se observó una buena distribución de partículas en la superficie del adsorbente lo que provoca en el aumento del área superficial, en el análisis FTIR se obtuvo la banda en 3425.88 cm^{-1} lo que indicaría la presencia del grupo funcional -OH presente en alcoholes y fenoles, al grupo -CO- se le atribuyó la banda en 1333.24 cm^{-1} , los grupos funcionales de aminas y aromáticos estuvieron presentes a 1116.82 cm^{-1} y 648.1 cm^{-1} respectivamente y finalmente en la banda 533.23 cm^{-1} estuvo presente el estiramiento C-N correspondiente a las aminas alifáticas. En las pruebas de adsorción obtuvieron porcentajes de remoción para el nitrato de 100% con 20 gr/L de dosificación y para amoníaco de 100% con 40 gr/L. Para la mezcla de ambos, con 20 gr/L de dosis el porcentaje de remoción fue de 70% (nitrato) y 60% (amoníaco) y con 40 gr/L se alcanzó el 100% de remoción para ambos a 60 minutos. Concluyeron que los biosorbentes de cáscaras de naranja son altamente efectivos para la remoción de amoníaco y nitratos.

Najeeb et al. (2021) en su investigación realizada en la facultad de Ingeniería y Gestión Punnapra Allepy, India, evaluaron la cáscara de plátano, cáscara de naranja y cáscara de huevo como bioadsorbentes para la eliminación de nitratos de soluciones sintéticas. La concentración de nitratos fue analizada mediante un espectrofotómetro UV y los parámetros que se optimizaron fueron la dosis de bioadsorbente y el tiempo de contacto. Como resultados, obtuvieron porcentajes de remoción de 66,5% (cáscara de plátano) con una dosis de 8 gr/L, 73,2% (cáscara de naranja) con una dosis de 24 gr/L y 67,6% (cáscara de huevo) con una dosis de 32 gr/L. La máxima eficiencia de remoción se obtuvo a 40 minutos de tiempo de contacto. Concluyeron que la adsorción con estos bioadsorbentes fue eficiente y que la cáscara de naranja tiene mayor tendencia a adsorber nitratos.

Poluri et al. (2022) en su investigación realizada en Andhra Pradesh, India, analizaron la eficiencia de adsorción de nitratos de soluciones acuosas utilizando una combinación de dos adsorbentes de cáscara de naranja y cáscara de plátano. La concentración de nitrato fue determinada usando un kit colorimétrico. Las variables que se optimizaron fueron la proporción de adsorbentes, la dosis de adsorbente y el tiempo de contacto. Como resultados, la mejor proporción fue de (4:1) para la cáscara de plátano y naranja respectivamente, obteniéndose un porcentaje máximo de remoción de 89% con 250 gr/L de dosis de adsorbente. Se consideró óptimo un tiempo de 120 minutos, concluyendo que el polvo de cáscara de

plátano actúa como un buen adsorbente junto con una dosis mínima de polvo de cáscara de naranja para remover nitratos del agua.

Jendia et al. (2020) en su investigación realizada en la Universidad de Gaza, Palestina, analizaron la adsorción de nitratos en soluciones acuosas y aguas subterráneas utilizando cáscara de huevo como biosorbente. La concentración de nitrato se determinó mediante un espectrofotómetro de barrido de haz único CT 2200 a 220 nm y las variables que se optimizaron fueron la temperatura de secado del adsorbente, el pH, el tiempo de contacto, la dosis de adsorbente y la granulometría. Como resultados, obtuvieron que la mayor eliminación de nitratos se obtuvo a un pH de 6.0–7.5, con un tamaño de partícula de cáscara de huevo de 90–710 μm , una temperatura de secado de 45 °C, con 100 g/L, un tiempo de contacto de 24 horas. Se alcanzó un máximo porcentaje de remoción de 93% en muestras de aguas subterráneas reales y 94% en aguas subterráneas sintéticas, concluyendo que la cáscara de huevo redujo efectivamente los nitratos tanto en agua subterránea sintética como real.

Michael-Igolima et al. (2023), en su investigación realizada en la Universidad del Oeste de Inglaterra, Reino Unido, caracterizaron distintos adsorbentes obtenidos a partir de cáscara de naranja tras someterlos a diferentes tipos de modificaciones, incluyendo modificaciones físicas, químicas y termoquímicas. Los adsorbentes se caracterizaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Como resultados, obtuvieron que la cáscara de naranja, luego de una modificación física (secado a 75 °C durante 24 horas y pulverización), presentaba picos en 3290,87 cm^{-1} , los cuales indican la presencia de grupos hidroxilo presentes en carbohidratos y fenoles. La banda en 2921,63 cm^{-1} se atribuyó al estiramiento asimétrico del enlace C-H, mientras que el grupo carbonilo presente en ésteres se identificó en la banda en 1737,24 cm^{-1} . Se identificaron compuestos alifáticos y aromáticos insaturados en 1606,34 cm^{-1} , y la banda en 1428 cm^{-1} indicó el doblamiento del enlace C-H presente en la estructura lignocelulósica del material. Asimismo, la banda en 1011,57 cm^{-1} se asoció con la presencia de grupos C-OH y C-OR. El análisis por SEM mostró que la cáscara de naranja seca y pulverizada presentaba una mejor área superficial y una estructura más porosa en comparación con la cáscara cruda. Se concluyó que la pectina es el principal componente responsable de la adsorción, y que los grupos funcionales hidroxilo, carboxilo, carbonilo y amino son los responsables de la adsorción de

contaminantes. Además, se determinó que las modificaciones físicas incrementaron el área superficial y transformaron la estructura de la cáscara en una estructura porosa, capaz de adsorber contaminantes de manera más eficiente.

Vijaya Kumar & Prasad Raju (2020) en su investigación realizada en el colegio de ingeniería Sree Vidyanikethan, India, evaluaron la cáscara de naranja como carbón activado modificada termoquímicamente utilizando cloruro de zinc. El carbón activado de la cáscara se caracterizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de dispersión de energía de rayos X (EDX). Los iones nitratos se analizaron mediante un espectrofotómetro en el rango ultravioleta a 220 nm de longitud de onda. Las variables que se evaluaron fueron la dosis de adsorbente, el tiempo de contacto y el pH. Como resultados obtuvieron una eficiencia de adsorción de nitrato máxima del 86% con una dosis de 3g/L, a pH 3 y tiempo de contacto de 720 minutos. Concluyeron que la cáscara de naranja como carbón activado con cloruro de zinc es un adsorbente efectivo para adsorción de nitratos de agua contaminada.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Agua subterránea.

El agua subterránea es un elemento fundamental del ciclo del agua. La energía solar es la energía que impulsa el ciclo del agua y permite su evaporación, este vapor de agua luego circula por las corrientes atmosféricas, se eleva a gran altura y con las condiciones adecuadas cae al suelo en forma de precipitación (lluvia). Al llegar a la superficie, el agua de lluvia se infiltrará y parte de esta agua será absorbida por el suelo debido a que este tiene alta permeabilidad. Esta agua infiltrada puede encontrar una capa de menor permeabilidad en el suelo, a poca profundidad y continuará por esta capa hasta alcanzar nuevamente la superficie; esta es agua superficial. El agua infiltrada que no encuentre una capa poco profunda de baja permeabilidad en el suelo se infiltrará a profundidades que pueden alcanzar hasta cientos de metros y encontrar una capa geológicamente impermeable, como por ejemplo una capa de arcilla. Allí, el agua infiltrada se acumulará por encima de esta capa; esto es agua subterránea (Lachassagne, 2021).

La principal fuente de agua dulce de la población mundial es el agua subterránea, la cual, es utilizada para fines domésticos, producción industrial y alimentos. Las investigaciones actuales se centran en mantener este recurso hídrico accesible, sostenible y eficiente (Al-Hashimi et al., 2021).

1.2.2 Contaminantes de las aguas subterráneas.

La contaminación del agua subterránea es la adición de sustancias indeseadas causadas por actividades humanas debido a la utilización de productos químicos, combustibles, fertilizantes, etc. La principal diferencia entre la contaminación del agua superficial y la subterránea es que, en esta última, los contaminantes son invisibles y la recuperación del recurso es compleja, desafiante y costosa con la tecnología actual. La mayoría de contaminantes son inodoros e incoloros, además, el impacto negativo que generan en la salud pública es difícil de detectar (Li et al., 2021).

A nivel mundial, son múltiples los factores antropogénicos que afectan la calidad del agua subterránea debido a las distintas modificaciones de la tierra, su uso, el crecimiento económico y demográfico. La escorrentía superficial es otro factor que afecta la calidad del agua subterránea ya que transporta los contaminantes hacia los acuíferos a través de la percolación y la infiltración (Abanyie et al., 2023).

Generalmente, los contaminantes en aguas subterráneas, se clasifican en tres tipos: contaminantes radiactivos, químicos y biológicos, los cuales, provienen de fuentes antropogénicas y naturales. Los contaminantes nitrogenados, como el nitrógeno amoniacal, el nitrito y nitrato son los más comunes. El nitrato proviene comúnmente de actividades humanas, como la agricultura donde se utilizan fertilizantes y las aguas residuales domésticas. Se ha reportado, en regiones de todo el mundo, la contaminación por nitratos en aguas subterráneas (Li et al., 2021).

1.2.3 Origen de los nitratos en el agua.

El nitrato es considerado como el segundo contaminante químico más frecuente en aguas subterráneas después de los pesticidas. El amoníaco (NH_3), el nitrito (NO_2^-), el nitrato (NO_3^-) y los compuestos orgánicos nitrogenados han atraído considerablemente la atención y son especies de interés en la gestión de recursos

hídricos en el mundo. En moderadas concentraciones, el nitrato es inofensivo, por lo que la OMS estipula un límite máximo de 50 ppm NO_3^- en el agua potable (Shukla & Saxena, 2020).

La presencia de nitratos en acuíferos puede deberse a distintas razones como las actividades agrícolas, riego de tierras con efluentes residuales o al saneamiento sin alcantarillado. No obstante, a nivel mundial, la mayor cantidad de nitrógeno antropogénico presente en aguas subterráneas es debido al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en actividades agrícolas. Estos tipos de fertilizantes rápidamente se transforman en iones nitrato (NO_3^-) en el suelo, los cuales son fácilmente solubles y por ende lixiviables a las capas profundas del suelo. Cuando la cantidad de nitratos excede a la capacidad de captación que tienen las plantas, estos no son adsorbidos por las partículas del suelo, sino que son lixiviados por el agua que se percola y finalmente se acumulan en las aguas subterráneas (Suthar et al., 2009).

Es por ello que, es de gran importancia, la optimización y continua mejora de los procesos de remoción de nitratos de aguas subterráneas y del agua potable, así como de las aguas residuales antes de ser vertidas (Stjepanović et al., 2019).

1.2.4 Efectos en la salud.

El nitrato, en altas concentraciones, en fuentes de agua potable, supone un riesgo para la salud pública y el medio ambiente. En los seres humanos, la toxicidad del nitrato se debe principalmente a su reducción a nitritos en el cuerpo. Las bacterias orales reducen fácilmente el nitrato en nitrito en personas de todas las edades; en los bebés se reduce específicamente en el tracto gastrointestinal. Estos nitritos se absorben en la sangre, se unen a la hemoglobina y mediante la oxidación del hierro de Fe^{+2} a Fe^{+3} se forma la metahemoglobina (Golje & Upadhyayula, 2017).

1.2.5 Tecnologías para remoción de nitratos.

Los métodos para la eliminación de nitratos que comúnmente se utilizan se dividen en dos grupos: métodos fisicoquímicos y biológicos. En los métodos biológicos se tiene a la desnitrificación biológica, la cual, reduce el nitrato a gas nitrógeno en condiciones anaeróbicas. Este método, en comparación con los métodos fisicoquímicos, es barato

y amigable con el medio ambiente, sin embargo, es un método bastante lento cuando se trabaja con altas concentraciones de nitratos y bajas temperaturas. En cuanto a los métodos fisicoquímicos se incluye la ósmosis inversa, electrodiálisis, adsorción, reducción catalítica e intercambio iónico. De los métodos antes mencionados, el proceso de adsorción es el más favorable y el más aplicado en la industria debido a que es de simple operación y diseño (Stjepanović et al., 2019).

1.2.6 Adsorción.

El proceso de adsorción se basa en la atracción de un soluto líquido o gaseoso (adsorbato) sobre una superficie de un sólido (adsorbente) formando una película atómica o molecular. El método de adsorción ha sido ampliamente utilizado en la remoción de nitratos debido a que es una tecnología muy efectiva y económica. Esta técnica utiliza adsorbentes naturales, a base de carbono y de desechos agrícolas. Estos últimos, están compuestos principalmente por celulosa, lignina y grupos funcionales, como alcoholes, aldehídos, carboxílicos, etc. Estos grupos tienen la capacidad de atraer a los contaminantes; los adsorbentes en el proceso de adsorción poseen un medio poroso con una elevada superficie interna. (Shahaji et al., 2023).

El proceso de adsorción puede ser de dos tipos: adsorción física y química. La adsorción física o fisisorción se desarrolla mediante fuerzas electrostáticas las cuales incluyen interacciones dipolares, interacciones de dispersión y enlaces de hidrógeno, además, este proceso es de adsorción multicapa y reversible. La quimisorción o adsorción química ocurre cuando la atracción entre adsorbato y adsorbente se da mediante enlaces químicos covalentes o electrostáticos entre átomos con altas energías de enlace y longitudes de enlace más cortas, además, este proceso es adsorción monocapa e irreversible (Mishra et al., 2022).

1.2.7 Factores que afectan la adsorción.

1.2.7.1 Temperatura.

La temperatura, en el proceso de adsorción, tiene un rol fundamental en el análisis para encontrar la eficiencia óptima de adsorción. Generalmente el proceso de adsorción sigue una reacción exotérmica, es decir, la adsorción de

nitrato, a altas temperaturas, se reduce debido a que posiblemente hay un aumento de energía cinética, la cual inhibe la adsorción en la superficie del adsorbente. La mayoría de autores sugieren que la adsorción es óptima en el rango de temperatura entre 10 y 30°C (Mishra et al., 2022).

1.2.7.2 pH.

La influencia del pH es uno de los factores más importantes en la adsorción de nitratos. En medio acuoso, el pH puede ser atribuido tanto por la acción del adsorbato como del adsorbente. El pH de la solución afecta directamente a los sitios activos, la carga superficial y el grado de ionización de los adsorbentes (Mishra et al., 2022).

Comúnmente, la capacidad de adsorción de nitratos disminuye en condiciones fuertemente ácidas ($\text{pH} \leq 2$) o básicas ($\text{pH} > 12$). En condiciones ácidas, el ion nitrato se puede transformar en un ion protonado lo que dificulta su adsorción mediante atracción electrostática hacia los adsorbentes que poseen grupos funcionales cargados positivamente, además, en estas condiciones, el ion nitrato puede competir con los iones cloruro, los cuales son añadidos al ajustar el pH del medio con ácido clorhídrico. En condiciones de pH igual o mayor al pH del punto de carga cero, el adsorbente presenta su superficie neutra o cargada negativamente lo que dificulta la adsorción de nitratos mediante atracción electrostática (Liu et al., 2022).

1.2.7.3 Dosis de adsorbente.

La dosis de adsorbente es otro factor importante en la adsorción de nitratos. Generalmente, al aumentar la dosis de adsorbente aumenta el porcentaje de remoción debido a que a mayores dosis hay más área superficial y también aumentan los sitios activos disponibles lo que proporciona una mejor interacción entre el nitrato y el adsorbente. La eficiencia de remoción tiene relación directa con la dosis de adsorbente, sin embargo, después de alcanzar la dosis óptima, el aumento de la dosis influye insignificadamente (Mishra et al., 2022).

El efecto insignificante que se evidencia después de haber alcanzado la dosis óptima puede atribuirse a que al añadir partículas de adsorbente a dosis altas podría disminuir los sitios activos de adsorción y a la disminución de la fuerza motriz del gradiente de concentración con el incremento de la relación adsorbato/adsorbente. Comúnmente, la capacidad de adsorción, disminuye con el incremento de la dosis de adsorbente debido a la desaturación de la adsorción de nitratos en solución acuosa (Liu et al., 2022).

1.2.7.4 Tiempo de contacto.

Otro parámetro fundamental en el proceso de adsorción es el tiempo de contacto, el cual, se utiliza para diseñar el tiempo de retención del adsorbente en el medio soluto. Generalmente, la adsorción de iones nitrato incrementa al aumentar el tiempo de contacto y este proceso ocurre en tres etapas. En la primera etapa, ocurre una rápida adsorción debido a que hay gran cantidad de sitios activos para la adsorción de nitratos en el adsorbente. En la segunda etapa, llamada adsorción lenta, el proceso es considerablemente lento ya que los sitios activos para adsorber nitratos ahora se encuentran saturados. Finalmente, en la tercera etapa, la adsorción alcanza el equilibrio y se vuelve constante (Mishra et al., 2022).

1.2.7.5 Granulometría del adsorbente.

La granulometría del adsorbente es otro parámetro a considerar en el proceso de adsorción. La capacidad de adsorción de nitrato aumenta con la disminución del tamaño del adsorbente debido a que al disminuir el tamaño de partícula aumenta el área superficial y por ende incrementan los sitios activos para adsorber nitratos (Liu et al., 2022).

1.2.7.6 Presencia de otros iones.

El agua contaminada con nitratos también contiene otros iones como el ion cloruro, fosfato, bicarbonato y sulfato. Estos pueden estar presentes en mayores o menores concentraciones y muestran un comportamiento competitivo en la

adsorción de nitratos ya que pueden ocupar los sitios activos de adsorción (Mishra et al., 2022).

El efecto de la presencia de otros iones (co-iones) es importante en la remoción de nitratos mediante adsorción. Si las concentraciones de estos co-iones es más alta que la del nitrato, la remoción de este se reduce significativamente. Otro factor que afecta negativamente a la adsorción de nitratos es la valencia o carga de los co-iones; si la valencia es mayor que uno, la adsorción de nitratos disminuye porque a mayor valencia, mayor tendencia a la adsorción. Comúnmente, el ion sulfato, es el ion más competente sobre todos los demás (Kalaruban, 2017).

1.2.7.7 Concentración inicial de nitratos.

La concentración de nitratos en aguas subterráneas o en soluciones sintéticas influye en la eficiencia de remoción de nitratos y en la capacidad de adsorción. Comúnmente, en bajas concentraciones, al aumentar la concentración inicial aumenta la adsorción de nitratos debido a que una mayor concentración proporciona una mayor fuerza impulsora entre la superficie del adsorbente y la solución (Liu et al., 2022).

1.2.8 Mecanismo de adsorción de nitratos.

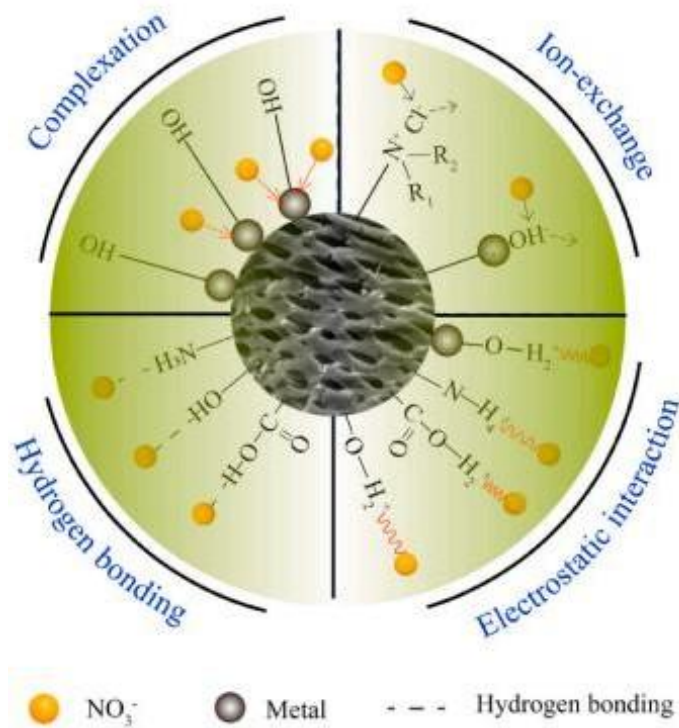
El proceso de adsorción comúnmente se desarrolla en tres pasos: la transferencia de masa del adsorbato a la superficie del adsorbente, transferencia del adsorbato al interior del adsorbente y llegada al sitio activo de adsorción y la rápida captación. Este proceso ocurre hasta alcanzar el equilibrio y depende de la concentración de adsorbato, la temperatura, la interacción entre el adsorbato y el adsorbente, el tamaño de los poros y el área superficial de los adsorbentes (Kalaruban, 2017).

El nitrato es un anión monovalente, lo que hace que los posibles sitios de adsorción mediante atracción electrostática o intercambio de iones sean las superficies cargadas positivamente o la superficie que contenga aniones intercambiables, respectivamente. Otro posible sitio de adsorción de nitratos son las superficies que contienen enlaces π debido a que el nitrato presenta un fuerte enlace π con un centro de cuatro electrones

y favorece la atracción π - π . Los átomos de oxígeno presentes en la molécula de nitrato tienen una gran electronegatividad y electrones solitarios, lo que hace que el nitrato pueda ser adsorbido en sitios que contengan iones metálicos multivalentes o átomos de hidrógenos mediante complejación o formación de enlaces de hidrógeno, respectivamente (Liu et al., 2022). A continuación, se muestran los posibles sitios de adsorción para los iones nitratos.

Figura 1

Posibles sitios de adsorción de nitratos y su mecanismo correspondiente



Nota. Tomado de A critical review of various adsorbents for selective removal of nitrate from water: Structure, performance and mechanism. Liu et al. (2022)

1.2.9 Bioadsorción.

El término “biosorción” es utilizado para referirse a la utilización de biomasa viva o muerta con el fin de asimilar metales mediante mecanismos fisicoquímicos como la adsorción (Benel, 2023). La bioadsorción se basa en la utilización de los biosorbentes, los cuales son compuestos naturales como: biomasa vegetal, biocarbon, residuos

agrícolas. Esta técnica es factible y atractiva para los investigadores debido a la alta disponibilidad de bioadsorbentes.

Los desechos más abundantes en la agroindustria, entre ellos las semillas, frutas, vegetales, cáscaras y hierbas tienen un alto potencial como materiales adsorbentes capaces de remediar la contaminación de fuentes de agua potable y efluentes. Estos son considerados adsorbentes no convencionales de bajo costo ya que poseen un alto contenido de celulosa y lignocelulosa. No obstante, se debe tener en cuenta sus características físicas y químicas, así como también los parámetros de operación (Dosis de bioadsorbente, tiempo de contacto, pH, etc.) con el fin de optimizar la adsorción de los contaminantes (Aguilar-Rosero et al., 2022).

1.2.10 Naranja.

La naranja es el fruto del naranjo dulce, un árbol del género *Citrus* perteneciente a la familia de las Rutáceas, la cual tiene más de 1600 especies. El género *Citrus* posee aproximadamente 20 especies con frutos comestibles, los cuales son abundantes en vitamina C, aceites esenciales y flavonoides; el género *Citrus* es el más importante de la familia de las Rutáceas. Los hespérides son los frutos cuya particularidad es que su pulpa está formada por vesículas llenas de jugo; el naranjo dulce es el árbol que más se cultiva de todos los cítricos, además, es la especie más importante del género *Citrus* (Aguilar y Flores, 2018).

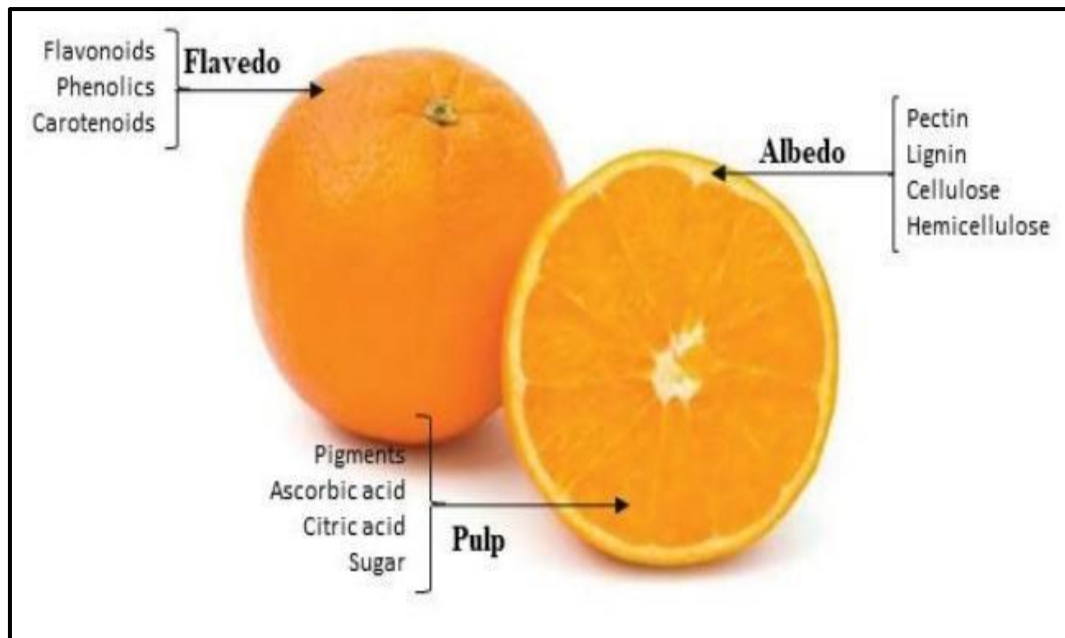
Según Villa, 2022 la clasificación taxonómica de la naranja es la siguiente:

- ✓ **Reino:** Naranjaceae
- ✓ **Género:** *Citrus*
- ✓ **Especie:** *Sinensis*
- ✓ **Familia:** Rutaceae
- ✓ **Clase:** Magnoliopsida
- ✓ **División:** Magnoliophyta
- ✓ **Orden:** Sapindales

La capa externa (cáscara) de la naranja es llamada exocarpio y está conformada por el flavedo, el mesocarpio de color blanco, la parte interna de la corteza, es llamado albedo. La parte comestible de la fruta es el endocarpio, en el cual se encuentran los carpelos que contienen bolsas con líquido y las semillas. Los residuos de la naranja después de su consumo son desechados sin conocer que estos tienen aplicabilidad en la adsorción ya que poseen compuestos como pigmentos, celulosa, hemicelulosa y lignina (Villa, 2022).

Figura 2

Partes de la naranja



Nota. Extraído de “Evaluation of orange peel (*Citrus sinensis*) as a source of bioactive components and its use as a Bioadsorbent”. Hernández., et al (2021)

La composición química de la cáscara de naranja puede variar según la variedad, las condiciones de crecimiento y la madurez. La cantidad de materia orgánica que tiene la cáscara es alrededor del 97.83% conteniendo carbono, nitrógeno, oxígeno, azufre, cloruros y ceniza. Además, diferentes estudios revelaron que la cáscara contiene celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina. La celulosa es un polisacárido insoluble en agua y el más abundante en biomásas vegetales, la hemicelulosa está compuesta de monómeros de azúcar y posee estructuras amorfas, la lignina es el segundo más

abundante en este tipo de biomasas, es totalmente hidrófoba e insoluble y consta de compuestos aromáticos y alifáticos, la pectina es otro polisacárido presente en las paredes celulares de las plantas y que se compone del ácido 1,4- α -D-galacturónico (AG) (Michael-Igolima et al., 2023).

La cáscara de naranja es un residuo agrícola de bajo costo y de muy fácil disponibilidad. Ha sido estudiada por diferentes autores como adsorbente de iones contaminantes en aguas potables y residuales. Los compuestos que posee como lignina, pectina, celulosa y hemicelulosa tienen grupos funcionales que pueden atraer nitratos y otros contaminantes mediante diferentes mecanismos de adsorción. En este estudio se utilizará la cáscara de naranja en su forma natural pre tratada para adsorción de nitratos.

1.3 Operacionalización de variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala
Dosis de bioadsorbente	Cantidad de bioadsorbente que se adiciona por volumen de solución	Cantidad de bioadsorbente de cáscara de naranja a aplicar por volumen de muestra de agua subterránea del distrito de Ferreñafe	-	Gramos por litro (gr/L)	Razón
Tiempo de contacto	Tiempo en el que dos sistemas permanecen en interacción directa.	Tiempo de contacto entre el adsorbente de cáscara de naranja y el agua subterránea del distrito de Ferreñafe	-	Minutos (min)	Razón
pH del agua	Medida del grado de acidez o alcalinidad de una solución acuosa	Grado de acidez o alcalinidad del agua subterránea de Ferreñafe	-	-	Intervalo
Adsorción de nitratos	Técnica basada en la atracción de un líquido o gas hacia la superficie de un sólido	Atracción de nitratos del agua subterránea de Ferreñafe hacia la superficie del adsorbente de cáscara de naranja	Porcentaje de adsorción	%	Razón

Nota. Se trabajó con la variable independiente pH como adicional a las variables ya establecidas.

1.4 Hipótesis.

La dosis, el tiempo de contacto de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y el pH del agua tratada, influyen significativamente en la adsorción de nitratos del agua subterránea del distrito de Ferreñafe destinada a consumo humano.

Capítulo II: Diseño metodológico

2.1 Localización de la investigación

La investigación fue realizada en el laboratorio de investigación de la facultad de ingeniería química e industrias alimentarias en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población.

La población en este estudio fue el agua subterránea del Distrito de Ferreñafe

2.2.2 Muestra.

Actualmente, el Distrito de Ferreñafe, cuenta con 5 pozos los cuales abastecen a todo el distrito. La muestra en este estudio fueron 45 litros del pozo #02, el cual, es el que posee los niveles más altos de nitratos.

2.3 Materiales, equipos y reactivos

2.3.1 Materiales.

- Bandejas de acero
- Cuchara
- Escobilla pequeña
- Papel toalla
- Paño wypall
- Bolsa ziploc
- Recipientes de plástico
- Cuchillo
- Recipiente para lavado
- Guantes
- Guardapolvo
- Mascarilla
- Toca

- Bagueta
- Probeta 25 mL, 10 mL
- Matraz 250 mL, 500 mL, 2000 mL
- Fiola 50 mL, 100 mL
- Pipeta 1 mL, 5 mL
- Propipeta
- Papel filtro 8 um
- Luna reloj
- Vaso de precipitado 500 mL
- Termómetro
- Cronómetro
- Gotero de plástico
- Pastillas de agitación

2.3.2 Reactivos.

- Agua desionizada
- Ácido clorhídrico 35%
- Kit Nitratos HI93728-01
- Alcohol etílico 96%

2.3.3 Equipos.

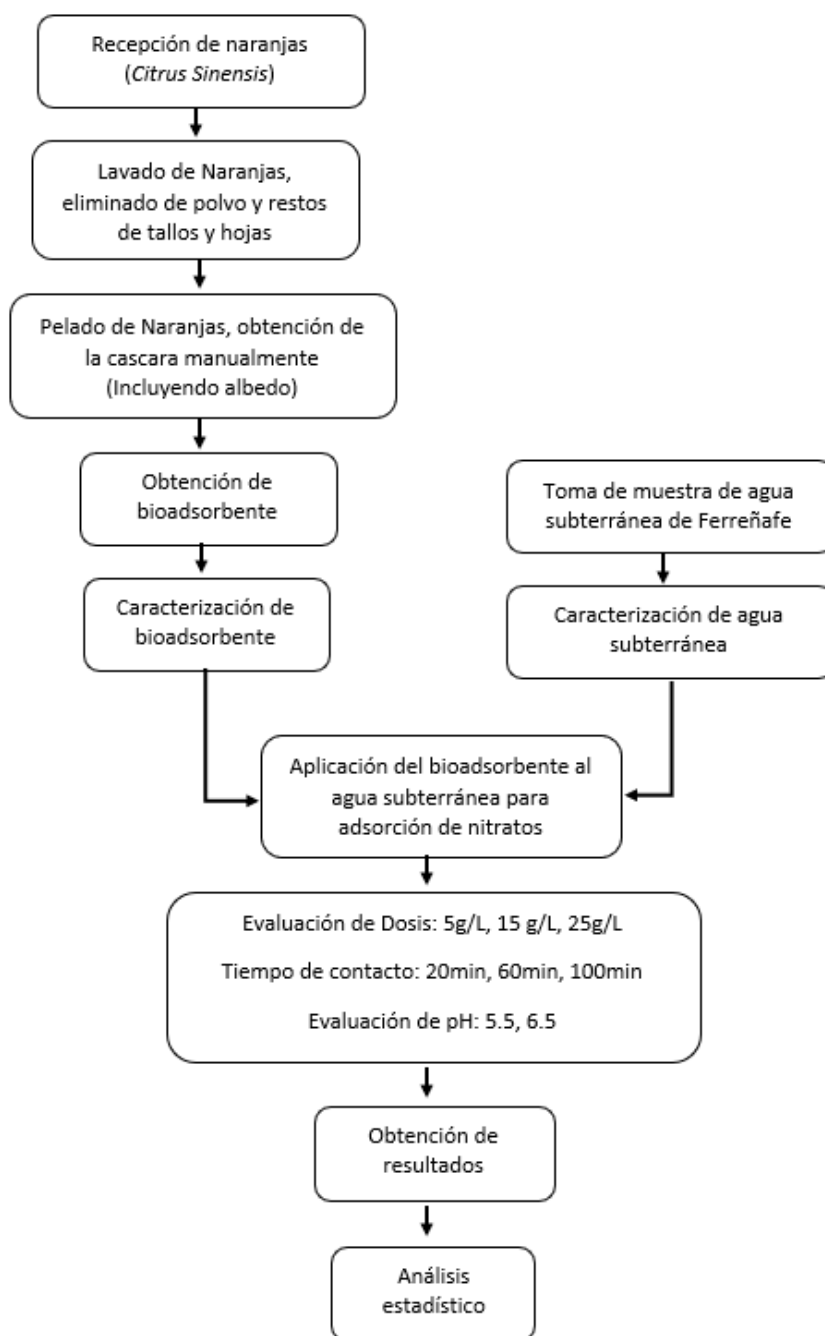
- Estufa Ecocell 00452-22
- Molino IKA WERKE M20
- Tamizador RX-29-16
- Bomba de vacío vacuubrand
- Balanza KERN FCB 12K1
- Balanza de humedad KERN DAB
- Balanza analítica OAHUS ADVENTURER
- Fotómetro HANNA HI83399
- Agitador termomagnético VLEP SCIENTIFICA
- Prueba de Jarras BIOBASE
- Turbidímetro HANNA HI98703

- Conductímetro HANNA
- Centrífuga EBA 200

2.4 Metodología de la investigación

Figura 3

Etapas de la metodología de la investigación



Nota. Elaboración propia

Tabla 2

Diseño de contrastación de hipótesis

Dosis g/L	Tiempo de Contacto (min)								
	Tiempo 20 min			Tiempo 60 min			Tiempo 100 min		
	Y₁	Y₂	Y₃	Y₁	Y₂	Y₃	Y₁	Y₂	Y₃
5 g/L	Y ₁₁	Y ₁₁	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₂	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₃	Y ₁₃
15 g/L	Y ₂₁	Y ₂₁	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₂	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₃	Y ₂₃
25 g/L	Y ₃₁	Y ₃₁	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₂	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₃	Y ₃₃

Nota. Y1, Y2, Y3 fueron el número de repeticiones. Este diseño se aplicó a ambos valores de pH adicionados en la figura 3

2.5 Obtención del bioadsorbente para el estudio de adsorción

2.5.1 Recepción

Las naranjas (*Citrus sinensis*) fueron compradas en el mercado de Moshoqueque en el distrito de José Leonardo Ortiz en la provincia de Chiclayo. La especie *sinensis* del género *citrus* hace referencia a la naranja dulce, es por ello que la variedad de la naranja que se compró fue la naranja huando. Se compraron 20 kilos de naranja para asegurar la cantidad de adsorbente teniendo en cuenta las pérdidas en las siguientes etapas de preparación.

Figura 4

Naranja Huando (Citrus Sinensis)



Nota. Elaboración propia.

2.5.2 Lavado, pelado y cortado

Las naranjas fueron lavadas con agua de grifo con la finalidad de eliminar restos de polvo, tierra, heces de ave, restos de tallos y hojas. Posteriormente fueron peladas manualmente utilizando un cuchillo de acero limpio y cortadas en pequeños trozos para su mejor manipulación y mejor eficiencia en el secado.

Figura 5

Lavado de naranjas, pelado y cortado de la cáscara



Nota. Elaboración propia

2.5.3 Lavado y secado

Posteriormente, las cáscaras de naranja fueron transportadas al laboratorio de investigación de la facultad de ingeniería química e industrias alimentarias en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Las cáscaras fueron nuevamente lavadas con agua desionizada para eliminar cualquier partícula que pudiera generar contaminación, fueron escurridas y colocadas en bandejas de acero para la operación de secado. El secado se realizó en la estufa a una temperatura de 120°C durante un lapso de 2 a 4 horas hasta que la humedad de la cáscara esté en el rango de 3 a 8 %.

Figura 6

Lavado de cáscara con agua desionizada



Nota. Elaboración propia.

Figura 7

Secado en estufa de la cáscara



Nota. Elaboración propia.

2.5.4 Pulverizado

La cáscara, al finalizar el secado, reposó dentro de la estufa hasta alcanzar la temperatura ambiente, posteriormente se realizó una pre-trituración con un mortero para ayudar al molino a pulverizar la cáscara. Seguidamente se alimentó al molino para pulverizar la cáscara, esto se realizó con la finalidad de aumentar el área superficial del bioadsorbente. La molienda se realizó durante un minuto para que se realice de manera uniforme.

Figura 8

Pulverizado de la cáscara



Nota. Elaboración propia.

2.5.5 Tamizado

La cáscara pulverizada se recogió en bolsas ziploc, se logró obtener 1178 gramos de cáscara seca pulverizada. Se utilizó el tamizador para separar los sólidos finos de los más gruesos, se separó la malla 200 del resto de sólidos con mayor granulometría. Para

poder completar la cantidad necesaria de malla 200 se tuvo que pulverizar nuevamente hasta completar el bioadsorbente.

Figura 9

Tamizado y clasificación por mallas de la cáscara



Nota. Elaboración propia.

2.6 Análisis fisicoquímico y determinación de pectina del bioadsorbente

Se realizaron análisis fisicoquímicos a la muestra seca y pulverizada de la cáscara de naranja. Se realizó la medición del pH, humedad, densidad aparente y se determinó el porcentaje de pectina. Para medir el pH se tomó 1 gramo de bioadsorbente y se le adicionó 20 mL de agua destilada (1:20), posteriormente se procedió a agitarse durante 30 minutos a temperatura ambiente y midió el pH del extracto acuoso.

El análisis de humedad se realizó utilizando la balanza de humedad, se pesaron entre 1 – 1.5 gramos en la balanza y se procedió a medir la humedad. La densidad aparente se calculó pesando una probeta de 25 mL con el bioadsorbente bien distribuido en la balanza analítica y se registró el peso del mismo.

Para la determinación de pectina se realizó utilizando una extracción ácida en caliente. Se pesaron 5 gramos de bioadsorbente y se le adicionaron 100 mL de agua ácida (pH 1.5 – 2.0), luego se llevó la solución a 80 – 90°C por 1 hora con agitación moderada en un agitador termomagnético para evitar sobrecalentamiento. Posteriormente se utilizó una bomba de vacío para filtrar el extracto en caliente para evitar solidificación, luego se adicionó en proporción 2:1 alcohol etílico al 96% en relación al extracto obtenido para precipitar la pectina, se agitó por unos minutos con una bagueta y se almacenó a 4°C por 24 horas, el precipitado obtenido se separó del líquido utilizando nuevamente filtración al vacío y se secó en la estufa a 105°C durante 5 horas. Finalmente se pesó en la balanza analítica para obtener el peso de la pectina.

2.7 Determinación de grupos funcionales

El bioadsorbente a base de cáscara de naranja contiene compuestos como pectina, lignina, celulosa y hemicelulosa, que poseen grupos funcionales los cuales son los responsables de la adsorción de nitratos y de contaminantes. Para determinar qué tipo de grupos funcionales están presentes en este bioadsorbente se utilizó la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, este análisis se realizó con el apoyo del laboratorio de investigación de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

2.8 Análisis fisicoquímico al agua subterránea del Distrito de Ferreñafe

Se tomaron 45 litros de agua del pozo 2 en el Distrito de Ferreñafe, el bidón de la muestra previamente lavado se enjuagó tres veces con la misma agua de pozo y se procedió a la recolección de la muestra. El agua fue llevada al laboratorio para su posterior caracterización. Se analizaron diferentes parámetros al agua, se midió turbidez, conductividad, pH, temperatura y la concentración de nitratos inicial del agua.

El análisis inicial de nitratos se realizó con el fotómetro HANNA HI83399 y el método 10.51 del manual del fotómetro utilizando el modelo de reactivo HI93728-01. Se tomó una muestra del agua y se diluyó 10 mL en 50 mL con la finalidad de reducir la interferencia generada por las sales presentes. Se realizaron cinco mediciones y se tomó el promedio inicial.

2.9 Estudio de la adsorción de nitratos

Para el estudio de adsorción se utilizaron las dosis 5, 15 y 25 g/L a 20, 60 y 100 minutos de tiempo de contacto y ambos parámetros fueron evaluados a pH 5.5 y 6.5. Las corridas se realizaron en el equipo de prueba de jarras para garantizar una buena agitación. Se tomaron 3 litros de agua y se llevaron al pH de trabajo, posteriormente se dividieron en 500 mL para distribuir a las 6 jarras. Se pesaron 2.5, 7.5 y 12.5 gramos de bioadsorbente. Las jarras se lavaron con agua ultrapura, se secaron cuidadosamente y se colocó el adsorbente en el fondo de la jarra, posteriormente se adicionó 100 mL de agua de trabajo a pH ya establecido para romper grumos y homogenizar el adsorbente, luego se completó al volumen final (500mL). Se programaron los tiempos de 20, 60 y 100 minutos a 120 RPM en el equipo y al terminar se dejó reposar por una hora, posteriormente se tomaron 15 mL del líquido sobrenadante y se centrifugaron a 6000 RPM por 10 minutos para separar los sólidos más finos, luego se extrajo 10 mL con una pipeta volumétrica y se diluyó a 50 mL. Luego se filtró la solución diluida utilizando filtros de jeringa con membrana de nitrocelulosa de 0.45 micras para reducir la interferencia de la turbidez. Por último, se midió la concentración de nitratos al filtrado claro, se realizaron tres repeticiones para garantizar la reproducibilidad de los resultados. El porcentaje de adsorción se calculó según Shahaji et al. (2023).

$$\% \text{ Adsorción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100\%$$

2.10 Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa Microsoft Excel para realizar las tablas y gráficos. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey.

Capítulo III: Resultados

3.1 Caracterización del bioadsorbente

3.1.1 Análisis fisicoquímico y determinación de pectina

Tabla 3

Resultados de análisis fisicoquímico y porcentaje de pectina del bioadsorbente

Parámetro	Unidades	Resultado
pH	-	4.63
Humedad	%	3.86
Densidad aparente	g/cm ³	0.655
Pectina	%	14.24

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 2 se puede apreciar los resultados de los análisis realizados a la cáscara de naranja seca y pulverizada como bioadsorbente antes de los ensayos de adsorción de nitratos. Se observa un pH de 4.63 lo que indica que su superficie es ácida, una humedad de 3.86% lo que indica que está dentro del rango de 3 a 8%, la densidad aparente fue de 0.655 gr/cm³ y se obtuvieron 0.7122 gramos de pectina lo que representó el 14.24%.

Figura 10

pH del bioadsorbente



Nota. Elaboración propia.

Figura 11

Pectina obtenida húmeda y seca



Nota. Elaboración propia.

Figura 12

Determinación de humedad y densidad aparente

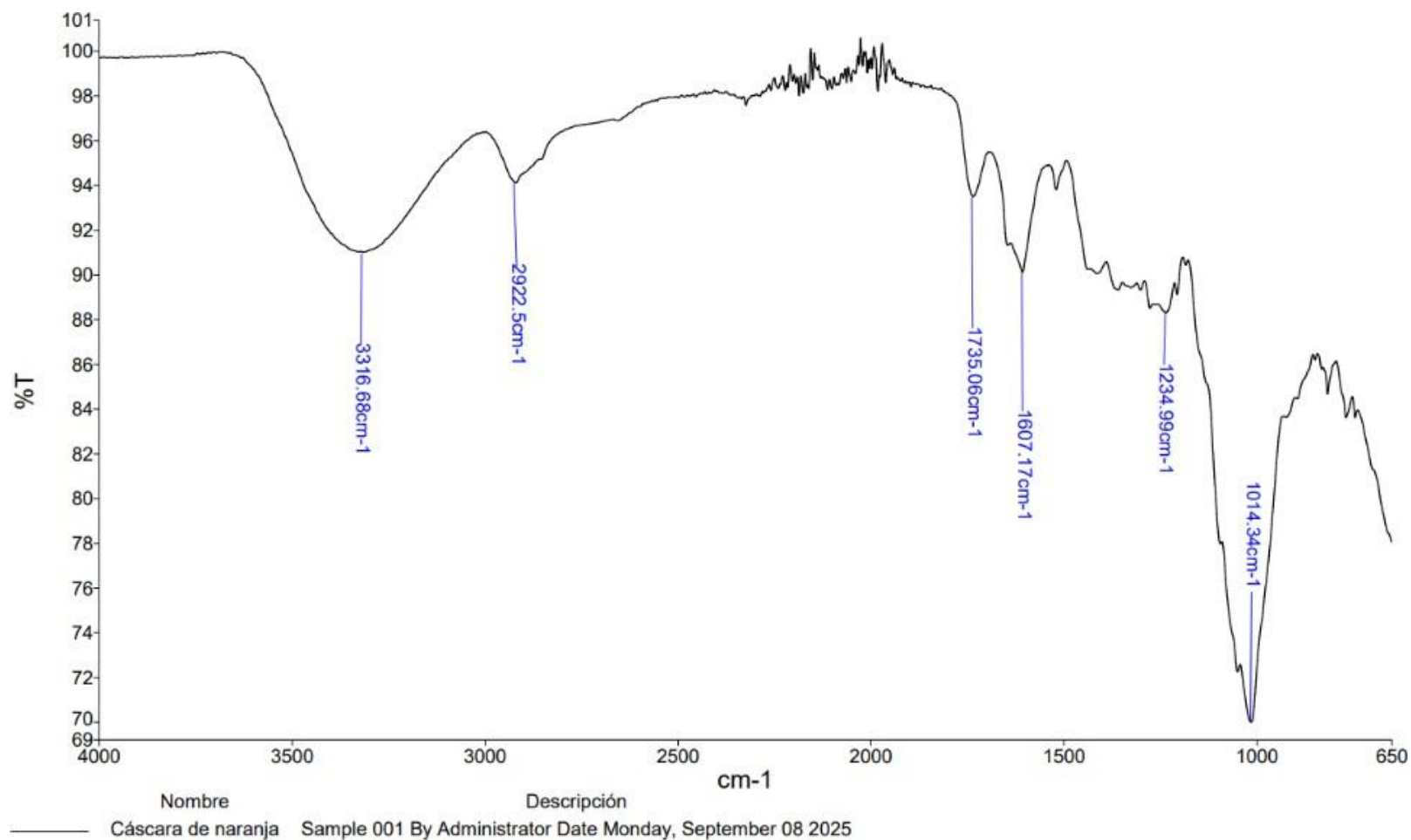


Nota. Elaboración propia.

3.1.2 Obtención de grupos funcionales

Figura 13

Espectro FTIR del bioadsorbente de cáscara de naranja



Nota. Espectro elaborado en el laboratorio de medio ambiente, investigación y servicios en la UNSA

El análisis por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier se realizó gracias al apoyo de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. El bioadsorbente fue enviado al laboratorio de medio ambiente, investigación y servicios. Se realizó el espectro en el equipo Perkin Elmer, modelo Frontier FT-IR/NIR. Para realizar el análisis se siguió la norma ASTM E1252-98, se utilizó el accesorio de reflectancia total atenuada y un rango de longitud de onda desde 650 cm^{-1} hasta 4000 cm^{-1}

La banda presente en 3316.68 cm^{-1} se les puede atribuir a los grupos hidroxilo (-OH) los cuales están presentes en los grupos fenólicos y carbohidratos en la cáscara de frutas, la banda presente en 2922.5 cm^{-1} puede indicar la presencia de enlaces (C-H) en grupos metileno con estiramiento asimétrico característico de compuestos alifáticos presentes en biomasa. Las bandas en 1735.06 cm^{-1} y 1607.17 cm^{-1} se le puede atribuir a los grupos carbonilo (-CO-) de ésteres y a los compuestos aromáticos y alifáticos que presentan insaturaciones respectivamente. La banda en 1234.99 cm^{-1} puede atribuirse a grupos carbonilo (-CO-) presentes en ácidos carboxílicos y la banda en 1014.34 cm^{-1} se puede atribuir a grupos (C-OR) de los anhídridos o C-OH presentes en carbohidratos.

3.2 Caracterización del agua subterránea

3.2.1 Análisis fisicoquímico del agua subterránea

Tabla 4

Resultados de análisis fisicoquímico al agua subterránea

Parámetro	Unidad	Resultado
Turbidez	NTU	0.45
Conductividad	uS/cm	2531
Temperatura	°C	25.2
pH	-	7.36
Concentración de NO ₃ ⁻	ppm	92

Nota. Elaborado en Excel.

En la tabla 3 se logra apreciar los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos al agua subterránea del Distrito de Ferreñafe. Se logra observar una turbidez de 0.45 NTU lo cual es característico de un agua subterránea, ya que debido a que se percola y lixivia por distintas capas del suelo, los sólidos suspendidos quedan retenidos y se obtiene un agua natural de muy baja turbidez. La conductividad del agua fue de 2531 uS/cm superando el límite máximo permitido para agua apta para consumo humano el cual es 1500 uS/cm, se tiene esta conductividad debido al arrastre de sales minerales como cloruros, sulfatos, carbonatos, etc.

El pH del agua fue de 7.36 ligeramente alcalino, la temperatura fue de 25.2°C y la concentración inicial de nitratos fue en promedio 92 ppm superando claramente el límite máximo en el decreto supremo 031-2010 donde se establece como máximo 50 ppm en aguas aptas para consumo humano.

Figura 14

Turbidez y conductividad del agua subterránea



Nota. Conductividad fuera del LMP según DS-01-2010.

Figura 15

pH del agua subterránea



Nota. Valor de pH en el fotómetro HANNA HI83399-01

3.3 Estudio de adsorción de nitratos

Tabla 5

Resultados generales del proceso de adsorción de nitratos a pH 5.5

Dosis	Tiempo de Contacto					
	20 min		60 min		100 min	
	Cf	%A	Cf	%A	Cf	%A
5g/L	76	17,39%	56,5	38,59%	50,5	45,11%
	78,5	14,67%	52,5	42,93%	55	40,22%
	72,3	21,41%	51	44,57%	55	40,22%
	75,60	17,83%	53,33	42,03%	53,50	41,85%
15g/L	61	33,70%	56,5	38,59%	40	56,52%
	64	30,43%	58	36,96%	42	54,35%
	58	36,96%	60	34,78%	41,5	54,89%
	61,00	33,70%	58,17	36,78%	41,17	55,25%
25g/L	41	55,43%	42	54,35%	45	51,09%
	45	51,09%	38	58,70%	41	55,43%
	37	59,78%	40	56,52%	43,5	52,72%
	41,00	55,43%	40,00	56,52%	43,17	53,08%

Nota. Concentración final de nitratos (Cf). Porcentaje de adsorción (%A)

Tabla 6

Resultados generales del proceso de adsorción a pH 6.5

Dosis	Tiempo de contacto					
	20 min		60 min		100 min	
	Cf	%A	Cf	%A	Cf	%A
5g/L	39	57,61%	38	58,70%	36,5	60,33%
	43,5	52,72%	41,5	54,89%	39,5	57,07%
	41	55,43%	43	53,26%	42	54,35%
	41,17	55,25%	40,83	55,62%	39,33	57,25%
15g/L	28	69,57%	25	72,83%	27,5	70,11%
	26,5	71,20%	28,5	69,02%	31,5	65,76%
	30	67,39%	30,5	66,85%	29	68,48%
	28,17	69,38%	28,00	69,57%	29,33	68,12%
25g/L	19	79,35%	14	84,78%	12,5	86,41%
	17	81,52%	16,5	82,07%	14,5	84,24%
	15,5	83,15%	18	80,43%	17,5	80,98%
	17,17	81,34%	16,17	82,43%	14,83	83,88%

Nota. Concentración final de nitratos (Cf). Porcentaje de adsorción (%A)

3.3.1 Ensayos de adsorción de nitratos utilizando pH 5.5

Tabla 7

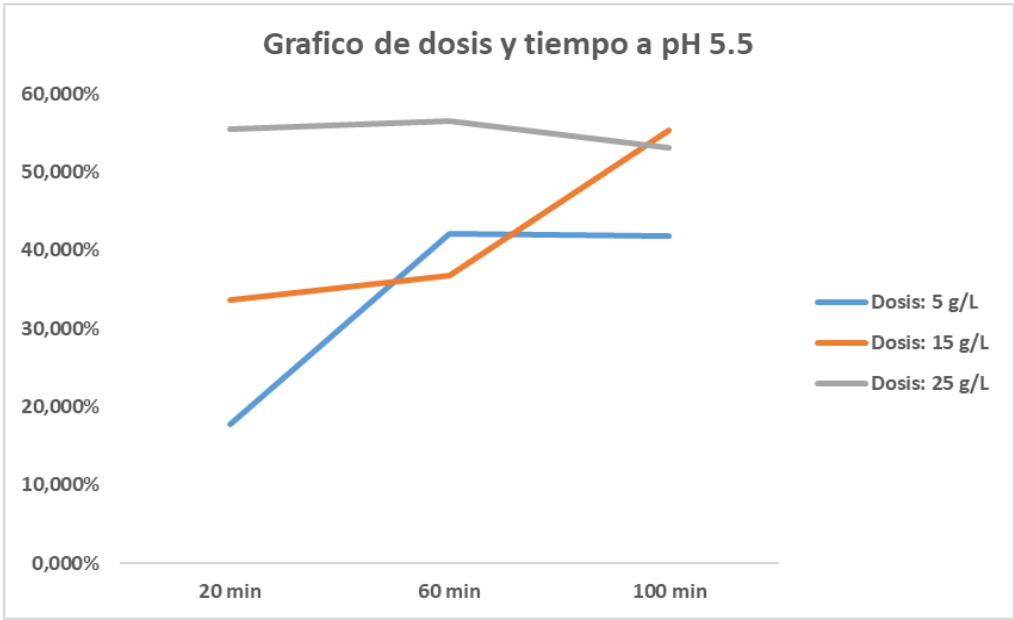
Resultados de adsorción de nitratos a pH 5.5

Dosis	Tiempo	% Adsorción	Desviación estándar (s)
5 g/L	20 min	17,823%	3,391%
	60 min	42,030%	3,090%
	100 min	41,850%	2,823%
15 g/L	20 min	33,697%	3,265%
	60 min	36,777%	1,912%
	100 min	55,253%	1,130%
25 g/L	20 min	55,433%	4,345%
	60 min	56,523%	2,175%
	100 min	53,080%	2,192%

Nota. Elaborado en Excel.

Figura 16

Gráfico de adsorción de nitratos por dosis y tiempo de contacto a pH 5.5



Nota. Elaborado en Excel.

En la tabla 5 y figura 16 se observa el comportamiento de la adsorción de nitratos usando el bioadsorbente de cáscara de naranja a pH 5.5. Los resultados muestran que a 5 g/L con 20 minutos de tiempo de contacto se alcanzó el menor porcentaje de adsorción siendo solo $17.823\% \pm 3.391\%$, a 60 minutos alcanzó una adsorción máxima de $42.030\% \pm 3.090\%$ y a 100 minutos se observó una ligera disminución pudiendo no ser significativamente diferente obteniendo $41.85\% \pm 2.823\%$.

La adsorción con la dosis de 15 g/L a 20 minutos fue de $33.697\% \pm 3.265\%$ no presentando mucha diferencia con lo obtenido a 60 minutos que fue de $36.777\% \pm 1.912\%$, sin embargo, a 100 minutos se logró alcanzar la máxima adsorción obteniendo un $55.253\% \pm 1.130\%$.

Finalmente, con la dosis 25 g/L a 20 minutos se obtuvo un $55.433\% \pm 4.345\%$ no presentando diferencia con lo obtenido a 60 minutos ni a 100 minutos que fueron $56.523\% \pm 2.175\%$ y $53.080\% \pm 2.192\%$ respectivamente. A pH 5.5 se logró obtener un máximo porcentaje de adsorción a 25 g/L con 60 minutos observándose una clara influencia significativa de la dosis y el tiempo, esto se confirmará con el análisis estadístico para evaluar la hipótesis planteada en esta investigación.

3.3.2 Ensayos de adsorción de nitratos utilizando pH 6.5

Tabla 8

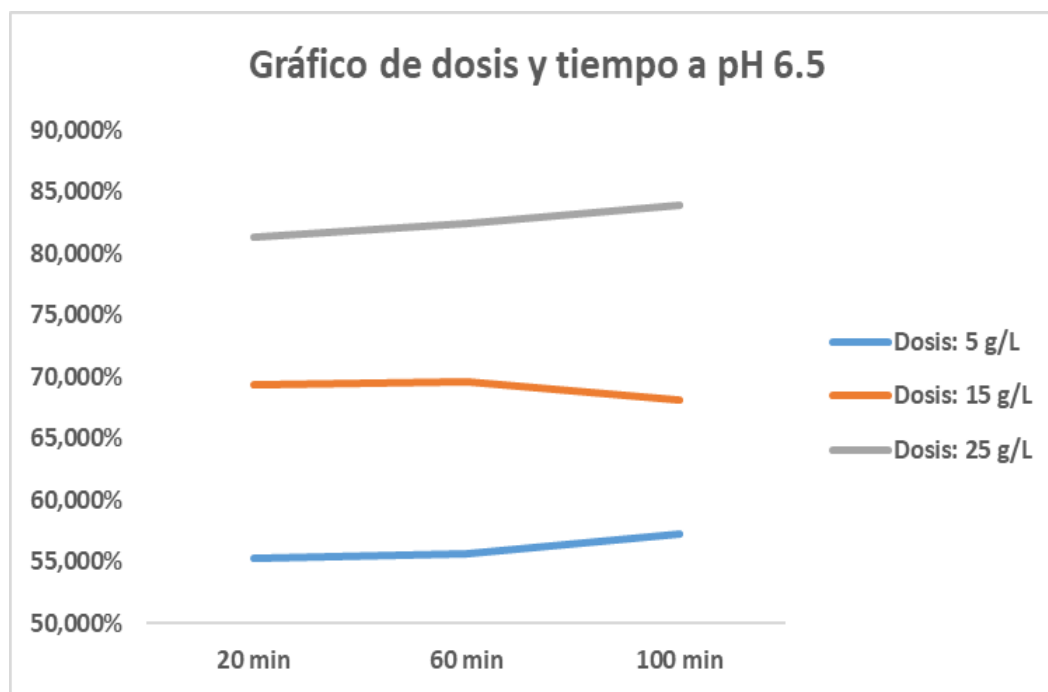
Resultados de adsorción de nitratos a pH 6.5

Dosis	Tiempo	% Adsorción	Desviación estándar (s)
5 g/L	20 min	55,253%	2,450%
	60 min	55,617%	2,792%
	100 min	57,250%	2,994%
15 g/L	20 min	69,387%	1,912%
	60 min	69,567%	3,027%
	100 min	68,117%	2,198%
25 g/L	20 min	81,340%	1,906%
	60 min	82,427%	2,197%
	100 min	83,877%	2,733%

Nota. Elaborado en Excel

Figura 17

Gráfico de adsorción de nitratos por dosis y tiempo de contacto a pH 6.5



Nota. Elaborado en Excel

En la tabla 6 y la figura 17 se aprecian los resultados y el comportamiento de la adsorción de nitratos usando el bioadsorbente de cáscara de naranja a pH 6.5. Con la dosis de 5 g/L a 20 minutos de tiempo de contacto se obtuvo $55.253\% \pm 2.450\%$ y con los siguientes tiempos de 60 y 100 minutos se obtuvieron $55.617\% \pm 2.792\%$ y $57.250\% \pm 2.994\%$ notándose muy poca variación del tiempo en la adsorción a 5 g/L.

Con la dosis de 15 g/L con 20 minutos de tiempo de contacto se obtuvo una adsorción de nitratos del $69.387\% \pm 1.912\%$ no presentando diferencia con lo obtenido a 60 y 100 minutos que fueron $69.597\% \pm 3.027\%$ y $68.117\% \pm 2.198\%$.

Finalmente, con la dosis de 25 g/L a 20 minutos se obtuvo un porcentaje de adsorción del $81.34\% \pm 1.906\%$ y con esta dosis tampoco presento diferencias notables al aumentar el tiempo obteniendo así a 60 y 100 minutos porcentajes de adsorción de $82.427\% \pm 2.197\%$ y $83.877\% \pm 2.733\%$. A pH de 6.5 se logró obtener el máximo porcentaje de adsorción a 25 g/L con 100 minutos, estos resultados muestran una clara influencia de la dosis, pero poca influencia del tiempo, esto se confirmará con el análisis estadístico.

3.4 Análisis estadístico

El siguiente análisis estadístico se realizó a los resultados obtenidos a pH 5.5 y 6.5 y se evaluó la influencia de la dosis, tiempo y su efecto conjunto en ambos pH. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) al 95% de confianza. Primero se evaluaron los dos supuestos del ANOVA, la normalidad con las gráficas Q-Q y la homogeneidad de los resultados con la prueba de Levene. Seguidamente se realizó el ANOVA de dos factores evaluando que parámetros tenían significancia, finalmente se realizó la prueba Tukey HSD para evaluar los pares de los parámetros entre los que había diferencia significativa.

3.4.1 Análisis estadístico de resultados a pH 5.5

Se inició el análisis evaluando la normalidad de los resultados, se calculó el coeficiente de curtosis, coeficiente de asimetría y se presentan los cálculos y el gráfico Q-Q plot a continuación.

Tabla 9

Cálculos para obtener residuos y cuantiles teóricos

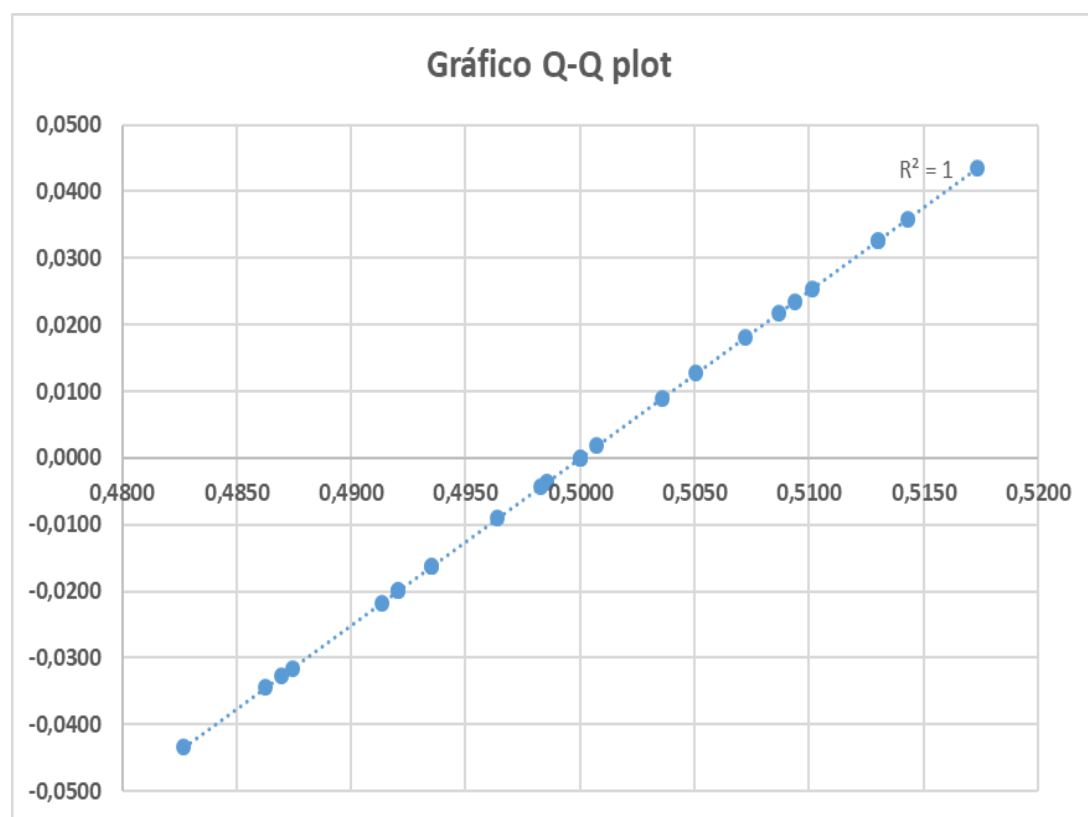
Dosis, g/L	Tiempo, min	Replica	Adsorción	Xij	Residuos	R, ordenados	Cuantiles teóricos
5	20	1	0,1739	0,1782	-0,0043	-0,0434	0,4827
5	20	2	0,1467	0,1782	-0,0315	-0,0344	0,4863
5	20	3	0,2141	0,1782	0,0359	-0,0327	0,4870
5	60	1	0,3859	0,4203	-0,0344	-0,0315	0,4874
5	60	2	0,4293	0,4203	0,0090	-0,0217	0,4913
5	60	3	0,4457	0,4203	0,0254	-0,0200	0,4920
5	100	1	0,4511	0,4185	0,0326	-0,0199	0,4921
5	100	2	0,4022	0,4185	-0,0163	-0,0163	0,4935
5	100	3	0,4022	0,4185	-0,0163	-0,0163	0,4935
15	20	1	0,3370	0,3370	0,0000	-0,0090	0,4964
15	20	2	0,3043	0,3370	-0,0327	-0,0043	0,4983
15	20	3	0,3696	0,3370	0,0326	-0,0036	0,4986
15	60	1	0,3859	0,3678	0,0181	-0,0036	0,4986
15	60	2	0,3696	0,3678	0,0018	0,0000	0,5000
15	60	3	0,3478	0,3678	-0,0200	0,0000	0,5000
15	100	1	0,5652	0,5525	0,0127	0,0000	0,5000
15	100	2	0,5435	0,5525	-0,0090	0,0018	0,5007
15	100	3	0,5489	0,5525	-0,0036	0,0090	0,5036

25	20	1	0,5543	0,5543	0,0000	0,0127	0,5051
25	20	2	0,5109	0,5543	-0,0434	0,0181	0,5072
25	20	3	0,5978	0,5543	0,0435	0,0218	0,5087
25	60	1	0,5435	0,5652	-0,0217	0,0235	0,5094
25	60	2	0,5870	0,5652	0,0218	0,0254	0,5101
25	60	3	0,5652	0,5652	0,0000	0,0326	0,5130
25	100	1	0,5109	0,5308	-0,0199	0,0326	0,5130
25	100	2	0,5543	0,5308	0,0235	0,0359	0,5143
25	100	3	0,5272	0,5308	-0,0036	0,0435	0,5173

Nota. Elaborado en Excel.

Figura 18

Gráfico Q-Q plot para evaluar normalidad de resultados obtenidos a pH 5.5



Nota. Elaborado en Excel.

El supuesto de normalidad de los resultados obtenidos se verificó mediante tres criterios: el gráfico Q-Q plot, el coeficiente de curtosis y el coeficiente de asimetría. En la figura 18 se aprecia el gráfico Q-Q plot que se formó con los datos que se

presentan en la tabla 7, en el eje X se colocaron los cuantiles teóricos y en el eje Y se colocaron los residuos ordenados de los resultados. En el gráfico se observa un ajuste lineal con $R^2 = 1$, lo cual indica que los cuantiles de los resultados obtenidos coinciden con los cuantiles teóricos de la distribución normal. El coeficiente de asimetría obtenido fue de 0,06718 valor cercano a cero lo que evidencia una distribución simétrica. Asimismo, el coeficiente de curtosis calculado fue de -0,8691, la cual se encuentra en el rango aceptable ($<-2;2>$) lo que indicó que la distribución no presenta colas alargadas ni una concentración atípica en la zona central. Todos estos datos demuestran que los resultados cumplen con el supuesto de normalidad requerido en el ANOVA.

Se continuó con el análisis del segundo supuesto del ANOVA, se evaluó la homogeneidad de las varianzas de los resultados, para ello se utilizó la prueba de Levene, se presentan los resultados de la prueba a continuación.

Tabla 10

Cálculos con las desviaciones para la prueba de Levene

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
5_20	3	0,071733333	0,023911111	0,00029216
5_60	3	0,0688	0,022933333	0,00016585
5_100	3	0,0652	0,021733333	8,8563E-05
15_20	3	0,065333333	0,021777778	0,00035462
15_60	3	0,039933333	0,013311111	9,9645E-05
15_100	3	0,025333333	0,008444444	2,066E-05
25_20	3	0,086933333	0,028977778	0,00062834
25_60	3	0,043533333	0,014511111	0,0001572
25_100	3	0,047	0,015666667	0,00011244

Nota. Elaborado en Excel.

Tabla 11*Resultado de la prueba de Levene*

Fuente	Suma de cuadrados	GL	X cuadrados	F	Probabilidad	F, crítico
Entre grupos	0,00098811	8	0,0001235	0,579126	0,78193078	2,5101579
Dentro de los grupos	0,003838967	18	0,0002133			
Total	0,004827076	26				

Nota. La prueba de Levene fue elaborada como un ANOVA de un factor para las desviaciones de cada grupo.

La homogeneidad de varianzas fue evaluada con la prueba de Levene y se obtuvo un estadístico $F = 0,5791$ y una probabilidad de $p = 0,7819$, el cual es mayor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$) asimismo el F calculado fue menor al F crítico ($0,5791 < 2,51$). En consecuencia, se acepta la hipótesis nula de igualdad de varianzas lo que indica que las dispersiones de los resultados son estadísticamente homogéneas. Con esta prueba se confirma el segundo supuesto y se procede con el ANOVA.

Tabla 12*ANOVA al 95% de confianza de dos factores a los resultados*

Fuente	Suma de cuadrados	GL	X cuadrados	Valor de F	Probabilidad	F crítico
Efecto Dosis	0,20445	2	0,10223	125,992	2,60259E-11	3,555
Efecto Tiempo	0,09649	2	0,04824	59,462	1,17263E-08	3,555
Interacción	0,10325	4	0,02581	31,815	6,12104E-08	2,928
Error	0,01460	18	0,00081			
Total	0,41880	26				

Nota. Elaborado en Excel.

El análisis de varianza factorial (ANOVA 3x3) permitió analizar el efecto de la dosis del bioadsorbente, el tiempo de contacto y el efecto conjunto (interacción) entre dosis y tiempo en el porcentaje de adsorción de nitratos a pH 5.5. Los resultados evidenciaron diferencias significativas ($p < \alpha = 0,05$) en los tres factores evaluados: dosis ($p = 2,60259E-11$), tiempo de contacto ($p = 1,17263E-08$) y la interacción entre la dosis y el tiempo ($p = 6,12104E-08$). Esto indica que, de manera individual, la dosis de bioadsorbente y el tiempo de contacto ejercen un efecto significativo en la adsorción de nitratos en agua subterránea. Asimismo, la interacción de la dosis y el tiempo también tiene un efecto significativo lo que quiere decir que la dosis depende del tiempo y viceversa. Esto quiere decir que no solo importan el tiempo y la dosis por separado sino también la combinación de ambos para maximizar el porcentaje de adsorción. Con este análisis se rechaza la hipótesis nula de la investigación y se confirma que el efecto de la dosis y tiempo de contacto de la cáscara de naranja como bioadsorbente influye significativamente en la adsorción de nitratos.

Como la interacción de las dos variables tiene influencia significativa se realizó la prueba de Tukey HSD solo a la interacción ya que no se pueden evaluar las dos variables por separado debido a que la dosis depende del tiempo y viceversa.

Tabla 13

Cuadro de comparaciones múltiples Tukey HSD

Grupos	5_20	5_60	5_100	15_20	15_60	15_100	25_20	25_60	25_100
5_20	-	0,2421	0,2403	0,1587	0,1895	0,3743	0,3761	0,3870	0,3526
5_60	0,2421	-	0,0018	0,0833	0,0525	0,1322	0,1340	0,1449	0,1105
5_100	0,2403	0,0018	-	0,0815	0,0507	0,1340	0,1358	0,1467	0,1123
15_20	0,1587	0,0833	0,0815	-	0,0308	0,2156	0,2174	0,2283	0,1938
15_60	0,1895	0,0525	0,0507	0,0308	-	0,1848	0,1866	0,1975	0,1630
15_100	0,3743	0,1322	0,1340	0,2156	0,1848	-	0,0018	0,0127	0,0217
25_20	0,3761	0,1340	0,1358	0,2174	0,1866	0,0018	-	0,0109	0,0235
25_60	0,3870	0,1449	0,1467	0,2283	0,1975	0,0127	0,0109	-	0,0344
25_100	0,3526	0,1105	0,1123	0,1938	0,1630	0,0217	0,0235	0,0344	-

Nota. Elaborado en Excel

En la tabla 11 se aprecia el cuadro de comparaciones múltiples Tukey HSD, los valores que se presentan en esta tabla son las diferencias absolutas entre medias por cada comparación de dos grupos (Δ_{ij}). El valor de la diferencia honesta significativa (HSD) fue de 0,081503, este valor es el valor crítico que define el umbral mínimo de diferencia entre dos medias para que ambas se consideren significativamente diferentes entre sí. En la tabla 11, los valores resaltados en negrita y cursiva son los valores menores al HSD lo cual indica que la comparación entre esos grupos no tiene diferencia significativa en el porcentaje de adsorción. A continuación, se presenta una tabla y gráfico con los grupos homogéneos de la prueba de Tukey HSD.

Tabla 14

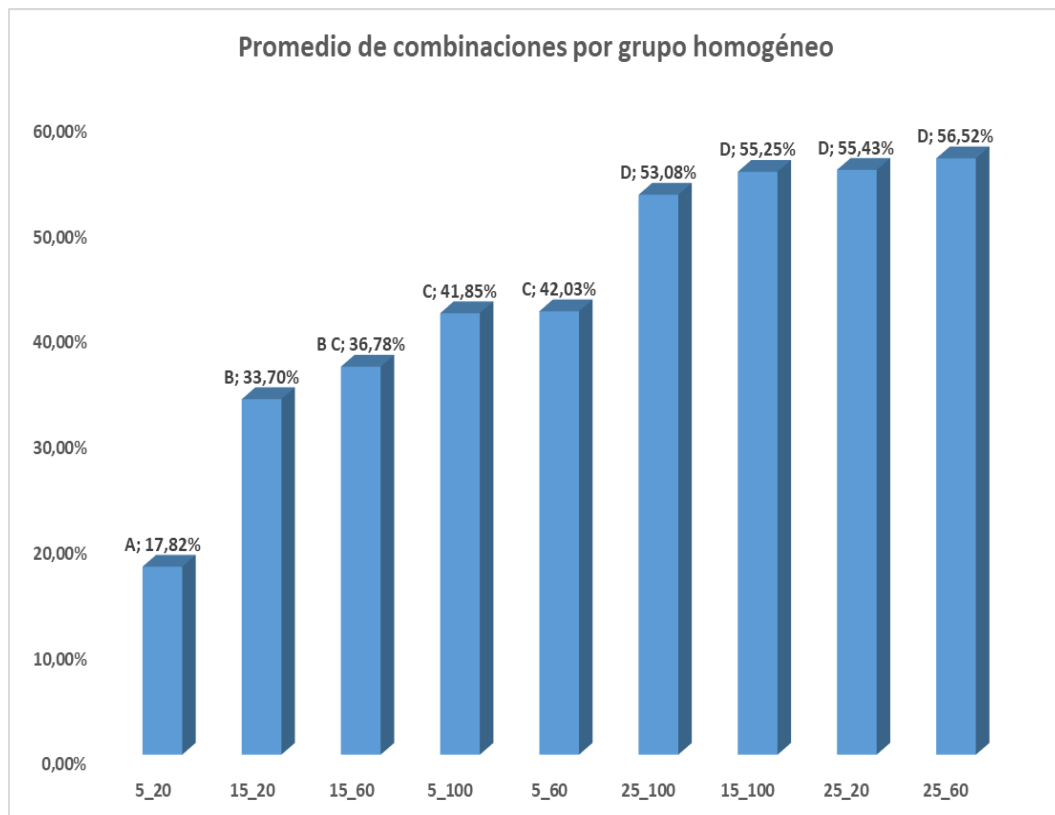
Grupos homogéneos de las combinaciones de dosis y tiempo de contacto

Grupos	Media por grupo	Grupo Homogéneo	
5_20	0,17823	A	
15_20	0,33697	B	
15_60	0,36777	B	C
5_100	0,41850		C
5_60	0,42030		C
25_100	0,53080		D
15_100	0,55253		D
25_20	0,55433		D
25_60	0,56523		D

Nota. Elaborado en Excel.

Figura 19

Gráfico de barras de los grupos homogéneos en Tukey HSD



Nota. Elaborado en Excel.

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey permitió encontrar que combinaciones de dosis y tiempo presentaron diferencias significativas en el porcentaje de adsorción de nitratos. Las diferentes combinaciones se organizaron en cuatro grupos homogéneos (grupo A, B, C y D) lo cual indica que los tratamientos que pertenecen a un mismo grupo no presentan diferencias significativas entre sí, pero sí entre los demás grupos.

En el grupo A se encuentra el tratamiento a 5 g/L – 20 min el cual presentó la menor media de adsorción de nitratos diferenciándose de manera significativa de todos los demás grupos. El grupo B (15 g/L – 20 min y 15 g/L – 60 min) tuvo valores intermedios de adsorción, no tuvo diferencias entre sí, pero sí de los demás grupos. El grupo C (15 g/L – 60 min, 5 g/L – 60 min y 5 g/L – 100 min) obtuvo medias de adsorción más altas que el grupo A y B, pero no alcanzó la máxima adsorción. Finalmente, el grupo D (25

g/L – 100 min, 15 g/L – 100 min, 25 g/L – 20 min y 25 g/L – 60 min) fue el grupo que alcanzó los valores más altos de adsorción conformando el grupo con los tratamientos más efectivos. De manera general, estos resultados obtenidos confirman que al aumentar la dosis del bioadsorbente y el tiempo de contacto aumentan el porcentaje de adsorción de nitratos, mientras que a dosis y tiempos bajos la eficiencia es menor.

3.4.2 Análisis estadístico de resultados a pH 6.5

Tabla 15

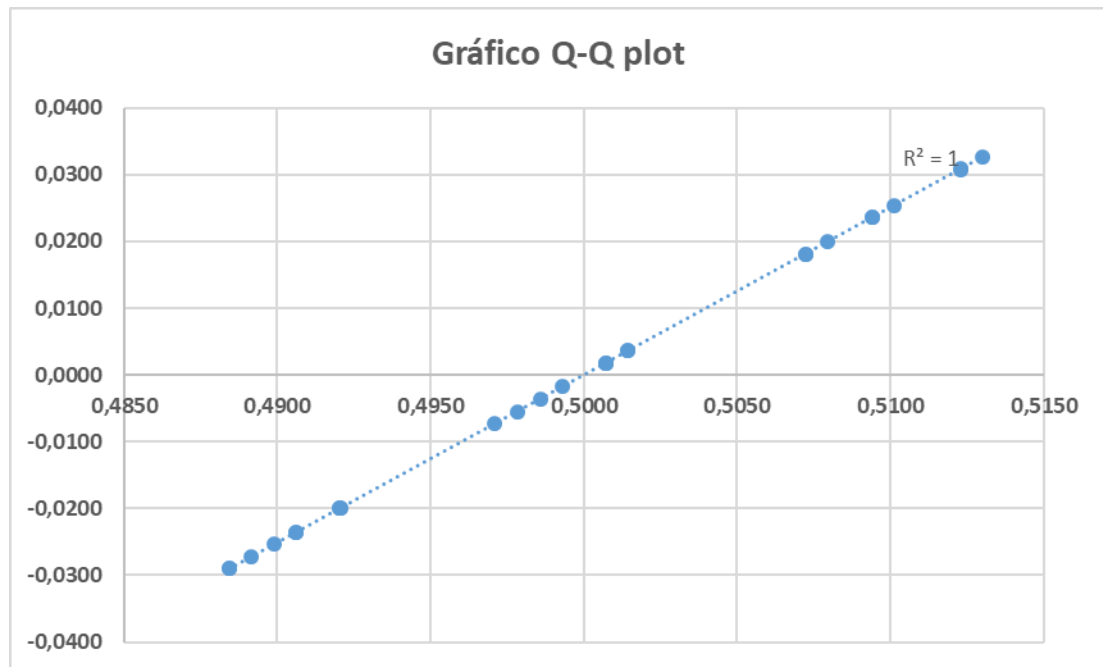
Cálculo de residuos y cuantiles teóricos

Dosis, g/L	Tiempo, min	Replica	Adsorción	Xij	Residuos	R, ordenados	Cuantiles teóricos
5	20	1	0,5761	0,5525	0,0236	-0,0290	0,4884
5	20	2	0,5272	0,5525	-0,0253	-0,0290	0,4884
5	20	3	0,5543	0,5525	0,0018	-0,0272	0,4892
5	60	1	0,5870	0,5562	0,0308	-0,0253	0,4899
5	60	2	0,5489	0,5562	-0,0073	-0,0236	0,4906
5	60	3	0,5326	0,5562	-0,0236	-0,0236	0,4906
5	100	1	0,6033	0,5725	0,0308	-0,0200	0,4920
5	100	2	0,5707	0,5725	-0,0018	-0,0200	0,4920
5	100	3	0,5435	0,5725	-0,0290	-0,0199	0,4921
15	20	1	0,6957	0,6939	0,0018	-0,0073	0,4971
15	20	2	0,7120	0,6939	0,0181	-0,0055	0,4978
15	20	3	0,6739	0,6939	-0,0200	-0,0036	0,4986
15	60	1	0,7283	0,6957	0,0326	-0,0018	0,4993
15	60	2	0,6902	0,6957	-0,0055	0,0018	0,5007
15	60	3	0,6685	0,6957	-0,0272	0,0018	0,5007
15	100	1	0,7011	0,6812	0,0199	0,0018	0,5007
15	100	2	0,6576	0,6812	-0,0236	0,0036	0,5014
15	100	3	0,6848	0,6812	0,0036	0,0036	0,5014
25	20	1	0,7935	0,8134	-0,0199	0,0181	0,5072
25	20	2	0,8152	0,8134	0,0018	0,0181	0,5072
25	20	3	0,8315	0,8134	0,0181	0,0199	0,5080
25	60	1	0,8478	0,8243	0,0235	0,0235	0,5094
25	60	2	0,8207	0,8243	-0,0036	0,0236	0,5094
25	60	3	0,8043	0,8243	-0,0200	0,0253	0,5101
25	100	1	0,8641	0,8388	0,0253	0,0308	0,5123
25	100	2	0,8424	0,8388	0,0036	0,0308	0,5123
25	100	3	0,8098	0,8388	-0,0290	0,0326	0,5130

Nota. Elaboración en Excel.

Figura 20

Gráfico Q-Q plot para evaluar normalidad de resultados a pH 6.5



Nota. Elaboración en Excel.

Se verificó mediante tres criterios el supuesto de normalidad de los resultados: el gráfico Q-Q plot, el coeficiente de curtosis y el coeficiente de asimetría. En la figura 20 se aprecia el gráfico Q-Q plot que se formó con los datos que se presentan en la tabla 13, en el eje X se colocaron los cuantiles teóricos y en el eje Y se colocaron los residuos ordenados de los resultados. En el gráfico se observa un ajuste lineal con $R^2 = 1$, lo cual indica que los cuantiles de los resultados obtenidos coinciden con los cuantiles teóricos de la distribución normal. El coeficiente de asimetría obtenido fue de 0,09213 valor cercano a cero lo que evidencia una distribución simétrica. Asimismo, el coeficiente de curtosis calculado fue de -1,3668, la cual refleja una distribución platicúrtica, es decir, con colas más ligeras que la distribución normal pero dentro del rango aceptable para considerar los resultados como normales. Todos estos datos demuestran que los resultados cumplen con el supuesto de normalidad requerido en el ANOVA.

Se continuó con el análisis del segundo supuesto del ANOVA, se evaluó la homogeneidad de las varianzas de los resultados, para ello se utilizó la prueba de Levene, se presentan los resultados de la prueba a continuación.

Tabla 16*Cálculos con las desviaciones para la prueba de Levene*

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
5_20	3	0,050667	0,016889	0,000172
5_60	3	0,061667	0,020556	0,000146
5_100	3	0,061600	0,020533	0,000264
15_20	3	0,039933	0,013311	9,96E-05
15_60	3	0,065267	0,021756	0,000206
15_100	3	0,047133	0,015711	0,000113
25_20	3	0,039800	0,013267	9,94E-05
25_60	3	0,047067	0,015689	0,000113
25_100	3	0,057933	0,019311	0,000188

Nota. Elaboración en Excel.

Tabla 17*Resultado de la prueba de Levene*

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F, Crítico
Entre grupos	0,0002467	8	3,0834E-05	0,19804	0,98751	2,5102
Dentro de los grupos	0,0028025	18	0,00015569			
Total	0,0030491	26				

Nota. La prueba de Levene fue desarrollada como un ANOVA de un factor evaluando las desviaciones de los resultados por grupo.

La homogeneidad de varianzas fue evaluada con la prueba de Levene y se obtuvo un estadístico $F = 0,19804$ y una probabilidad de $p = 0,98751$, el cual es mayor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$) asimismo el F calculado fue menor al F crítico ($0,1904 < 2,51$). En consecuencia, se acepta la hipótesis nula de igualdad de varianzas lo que indica que las dispersiones de los resultados son estadísticamente homogéneas. Con esta prueba se confirma el segundo supuesto y se procede con el ANOVA.

Tabla 18

ANOVA de dos factores a los resultados

Fuente	Suma de cuadrados	GL	X, cuadrados	F	Probabilidad	F crítico
Efecto Dosis	0,31624	2	0,158121	252,594	6,75E-14	3,55456
Efecto Tiempo	0,00053	2	0,000266	0,425	0,65997	3,55456
Interacción	0,00149	4	0,000373	0,596	0,67001	2,92774
Error	0,01127	18	0,000626			
Total	0,32953	26				

Nota. Elaboración en Excel.

El análisis de varianza factorial (ANOVA 3x3) permitió analizar el efecto de la dosis del bioadsorbente, el tiempo de contacto y el efecto conjunto (interacción) entre dosis y tiempo en el porcentaje de adsorción de nitratos a pH 6.5. Los resultados evidenciaron diferencias significativas ($p < \alpha = 0,05$) en solo la dosis de bioadsorbente ($p = 6,57E-14$), el tiempo de contacto ($p = 0,65997$) y la interacción de ambas variables ($p = 0,67001$) no tuvieron influencia significativa en la adsorción de nitratos ya que tuvieron un p mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$). Esto indica que, de manera individual, solo la dosis de bioadsorbente ejerce un efecto significativo en la adsorción de nitratos en agua subterránea. Con este análisis se rechaza la hipótesis nula de la investigación y se confirma que solo el efecto de la dosis de la cáscara de naranja como bioadsorbente influye significativamente en la adsorción de nitratos. A continuación, se muestran los resultados de la prueba de Tukey HSD al factor dosis.

Tabla 19*Comparativo de dosis en la prueba de Tukey HSD*

Dosis i	Dosis c	Xi	Xc	Δ_{ij}	HSD	EE	Li (95%)	Ls (95%)	Conclusión
5 g/L	15 g/L	56,04%	69,02%	-12,98%	0,03010	0,00834	-15,99%	-9,97%	Diferencia significativa
	25 g/L	56,04%	82,55%	-26,51%	0,03010	0,00834	-29,52%	-23,50%	Diferencia significativa
15 g/L	5 g/L	69,02%	56,04%	12,98%	0,03010	0,00834	9,97%	15,99%	Diferencia significativa
	25 g/L	69,02%	82,55%	-13,52%	0,03010	0,00834	-16,53%	-10,51%	Diferencia significativa
25 g/L	5 g/L	82,55%	56,04%	26,51%	0,03010	0,00834	23,50%	29,52%	Diferencia significativa
	15 g/L	82,55%	69,02%	13,52%	0,03010	0,00834	10,51%	16,53%	Diferencia significativa

Nota. Elaboración en Excel.

En la tabla 17 se aprecia el cuadro de comparaciones múltiples Tukey HSD, los valores que se presentan en la quinta columna de esta tabla son las diferencias absolutas entre medias por cada comparación entre dos grupos (Δ_{ij}). El valor de la diferencia honesta significativa (HSD) fue de 0,0301, este valor es el valor crítico que define el umbral mínimo de diferencia entre dos medias para que ambas se consideren significativamente diferentes entre sí. En la última columna de la tabla 17 se aprecia la conclusión comparando la (Δ_{ij}) con el HSD determinando que todas las comparaciones poseen diferencias significativas. A continuación, se presenta una tabla y gráfico con los grupos homogéneos de la prueba de Tukey HSD.

Tabla 20

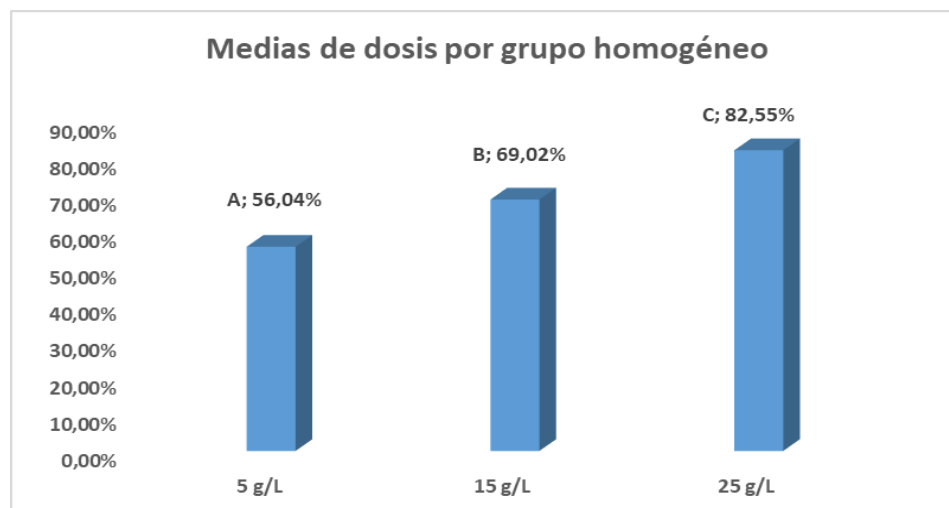
Grupos homogéneos de la prueba de Tukey HSD

Dosis	Media	Grupo
5 g/L	56,04%	A
15 g/L	69,02%	B
25 g/L	82,55%	C

Nota. Elaboración en Excel.

Figura 21

Grupos homogéneos de dosis en la prueba de Tukey HSD



Nota. Elaboración en Excel.

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey permitió encontrar que combinaciones de dosis presentaron diferencias significativas en el porcentaje de adsorción de nitratos. Las comparaciones de las tres dosis entre sí evidenciaron diferencias significativas y se ubicaron en tres grupos diferentes (A, B, C).

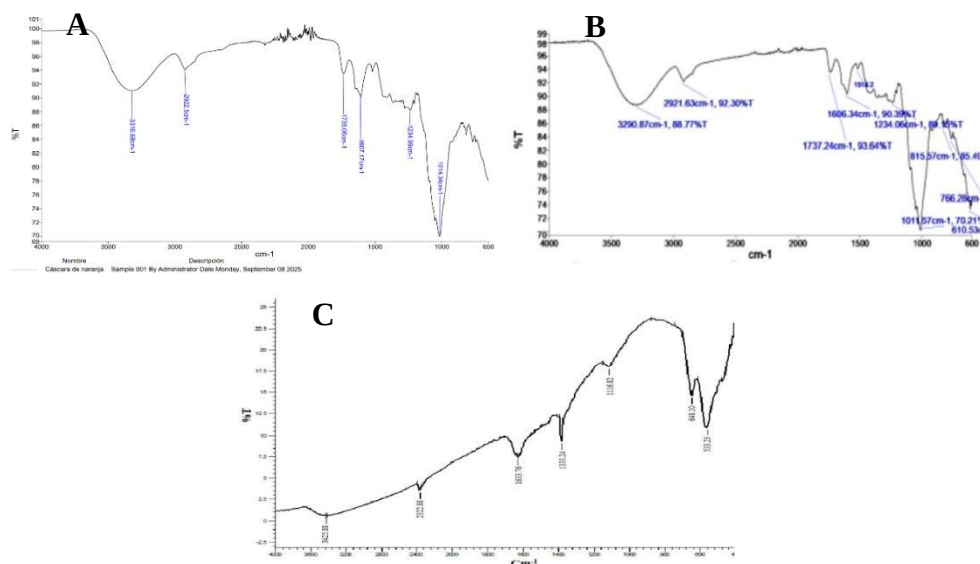
En el grupo A estuvo la dosis de 5 g/L la cual tuvo la media de adsorción más baja (56,04%) en el grupo B estuvo la dosis de 15 g/L la cual tuvo una media de adsorción intermedia no llegando a ser la más alta (69,02%) y finalmente, en el grupo C estuvo la dosis de 25 g/L la cual obtuvo la media más alta en la adsorción de nitratos (82,55%). Estos resultados confirman que al incrementar la dosis de adsorbente incrementa el porcentaje de adsorción de nitratos.

Capítulo IV: Discusiones

- Se encontró en el espectro FTIR la banda 3316.68 cm⁻¹ a la que se le atribuyó el grupo hidroxilo (-OH) esto concuerda con lo obtenido por Michael-Igolima et al en 2023, estos autores reportaron la presencia del grupo OH en una banda 3290.87 cm⁻¹ y también concuerda con lo obtenido por Dey et al en 2021 y 2022, estos autores encontraron la presencia del grupo OH a 3425.88 cm⁻¹. La banda que se encontró en 2922.5 cm⁻¹ se le atribuyó a la presencia asimétrica de enlaces C-H lo que concuerda con Michael-Igolima et al en 2023 en la banda 2921.63 cm⁻¹, sin embargo, Dey et al en 2021 y 2022 encontró el estiramiento del enlace C-H a 2322.28 cm⁻¹. La banda obtenida en 1735.06 cm⁻¹ pudo ser debido a la presencia del grupo carbonilo (-CO-) en los ésteres lo que concuerda con lo encontrado por Michael-Igolima et al en 2023 en su banda de 1737.24 cm⁻¹, no obstante, Dey et al en 2021 y 2022 encontró la presencia de grupos carbonilo a 1333.24 cm⁻¹ pudiendo estar relacionado a otros compuestos.

Figura 22

FTIR de bioadsorbentes de cáscara de naranja



Nota. Espectro en este estudio (A). Espectro encontrado por Michael-Igolima et al en 2023 (B). Espectro encontrado por Dey et al en 2021 y 2022 (C).

- Los resultados mostraron que a pH 6.5 el bioadsorbente alcanzó el máximo porcentaje de adsorción (82,55%) a 25 g/L con un mínimo tiempo de 20 minutos ya que no hubo diferencia con 60 y 100 minutos, estos resultados se asemejan a lo obtenido por Dey et al en el 2021 y 2022 en donde obtuvo que la dosis óptima para adsorción de nitratos fue de 20 g/L con 60 minutos de tiempo obteniendo 100% de adsorción de nitratos, esta diferencia puede haber sido debido a que, Dey et al utilizó 1 ppm como concentración inicial de nitratos en una solución sintética en el laboratorio, al tener una concentración muy baja el bioadsorbente pudo haber adsorbido por completo del ion nitrato. A pH 5.5 la máxima adsorción se obtuvo a 25 g/L con 60 minutos de tiempo, estos resultados también se asemejan en los parámetros óptimos obtenidos por Dey et al en el 2021 y 2022 pero difieren en el porcentaje de adsorción ya que en esta investigación se obtuvo un máximo porcentaje de 56,52% y los autores en mención obtuvieron 100% de adsorción
- Los autores Shahaji et al en 2023 obtuvieron un máximo porcentaje de adsorción de 81,3% a dosis de 30g/L a 3 horas de tiempo de contacto lo cual se aproxima a los resultados obtenidos en esta investigación a pH 6.5 se obtuvo un 82,55% con 25g/L y 20 minutos de tiempo de contacto y a pH 5.5 con 25 g/L y 60 minutos de tiempo un 56,52%. Los resultados se asemejan más a pH 6.5 que a 5.5, esto es debido a que Shahaji et al en 2023 utilizó también soluciones sintéticas de nitratos a 500 y 700 ppm y el pH de la solución de nitrato de potasio tiende a ser neutra, además los autores en mención pudieron necesitar más tiempo de contacto debido a las elevadas concentraciones iniciales de nitratos a las que trabajaron.
- Los autores Najeeb et al en 2021 obtuvieron como máximo porcentaje de adsorción un 73,2% a 24g/L con 40 minutos de tiempo de contacto, estos resultados se asemejan a los obtenidos en esta investigación a pH 6.5 con un 82,55% a 25g/L con 20 minutos de tiempo y a pH 5.5 con un 56,52 % con 25 g/L y 60 minutos. Las variaciones en el tiempo de contacto y las dosis pueden estar relacionadas con la naturaleza de la muestra de agua, ya que en aguas sintéticas contaminadas realizadas en el laboratorio no se tiene en cuenta la competencia de iones, en esta investigación se trabajó con muestras de agua real, la cual contenía iones cloruros, sulfatos, carbonatos, etc., pudiendo competir por los sitios activos de adsorción del bioadsorbente.

- El máximo porcentaje de adsorción que se obtuvo a pH 6.5 fue de 82,55% a 20 minutos de tiempo de contacto con 25g/L y a pH 5.5 fue de 56,52% a 25 g/L con 60 minutos. Estos resultados difieren con lo obtenido por Poluri et al en 2022 quienes obtuvieron 89% de adsorción a 250 g/L con 120 minutos, esto puede deberse a que estos autores usaron una mezcla de bioadsorbentes de cáscara de plátano (con activación química) y cáscara de naranja. Los resultados difieren también con lo obtenido por Vijaya Kumar y Prasad Raju en 2020 quienes obtuvieron un 86% de adsorción máxima a pH 3.0 con una dosis de 3 g/L y 720 minutos de tiempo de contacto, esta diferencia es debido a que estos autores transformaron la cáscara en carbón y la activaron con cloruro de zinc. Lo obtenido por Jendia et al en el 2020 fue una adsorción de nitratos en agua real máxima de 93% a 100 g/L con 24 horas lo cual difiere con lo obtenido en esta investigación ya que estos autores usaron cáscara de huevo como adsorbente.

Capítulo V: Conclusiones

- Se realizó un pretratamiento a la cáscara de naranja logrando obtener con éxito el bioadsorbente. La cáscara se secó a 120 grados, se pulverizó y se tamizó logrando obtener 467 gramos de malla 200.
- Se analizó el efecto de la dosis del bioadsorbente de cáscara de naranja en la adsorción de nitratos de aguas subterráneas en Ferreñafe. Se concluye que a pH 5.5 y a 6.5 la dosis influye significativamente sobre la adsorción de nitratos ya que al aumentar la dosis de adsorbente aumenta el porcentaje de adsorción.
- Se analizó el efecto del tiempo de contacto del bioadsorbente de cáscara de naranja sobre la adsorción de nitratos. Se concluye que a pH 5.5 mostró influencia significativa ya que al aumentar el tiempo de contacto aumenta el porcentaje de adsorción, pero no tuvo influencia significativa a pH 6.5.
- Se evaluó el efecto conjunto de la dosis y el tiempo en la adsorción de nitratos. Se concluye que a pH 5.5 hubo influencia significativa de la interacción de las dos variables y que al aumentar la dosis y el tiempo se puede maximizar la adsorción de nitratos, sin embargo, a pH 6.5 no tuvo influencia significativa esta interacción de dosis y tiempo.

- Se evaluó el efecto del pH del agua en la adsorción de nitratos encontrándose que a pH 6.5 mejora la adsorción notablemente que a pH 5.5.

Capítulo VI: Recomendaciones

- Comparar la eficiencia de la cáscara de naranja con otros bioadsorbentes locales de bajo costo, como cáscara de otras frutas o semillas.
- Evaluar el efecto de más variables del proceso, como por ejemplo la temperatura de secado, la velocidad de agitación o el pH en un rango más amplio.
- Analizar la capacidad multiadsorbente de la cáscara de naranja, evaluando si puede adsorber más tipos de contaminantes en fuentes de agua subterránea con matrices reales.
- Evaluar realizar un tratamiento químico a la cáscara de naranja teniendo en cuenta una adsorción selectiva de contaminantes y los residuos posteriores a su aplicación.

Capítulo VII: Referencias

- Abascal, E., Gómez-Coma, L., Ortiz, I., & Ortiz, A. (2022). Global diagnosis of nitrate pollution in groundwater and review of removal technologies. *Science of The Total Environment*, 810, 152233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152233>
- Abanyie, S. K., Apea, O. B., Abagale, S. A., Amuah, E. E. Y., & Sunkari, E. D. (2023). Sources and factors influencing groundwater quality and associated health implications: A review. *Emerging Contaminants*, 9(2), 100207. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100207>
- Aguilar, M., & Flores, C. (2018). *Evaluación de la Cáscara de Naranja (citrus cinensis) como material adsorbente Natural de Ion metálico Cu (II)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7105>
- Aguilar-Rosero, J., Urbina-López, M. E., Rodríguez-González, B. E., León-Villegas, S. X., Luna-Cruz, I. E., & Cárdenas-Chávez, D. L. (2022). Development and Characterization of Bioadsorbents Derived from Different Agricultural Wastes for Water Reclamation: A Review. *Applied Sciences*, 12(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/app12052740>
- Al-Hashimi, O., Hashim, K., Loffill, E., Marolt Čebašek, T., Nakouti, I., Faisal, A. A. H., & Al-Ansari, N. (2021). A Comprehensive Review for Groundwater Contamination and Remediation: Occurrence, Migration and Adsorption Modelling. *Molecules*, 26(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/molecules26195913>
- Ang, B. Y. H., Ong, Y. H., & Ng, Y. S. (2021). Investigation on the removal of nitrate from water using different types of biosorbents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 646(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/646/1/012010>
- Aquae. (2021). Un tercio de la población utiliza agua subterránea. Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/agua-subterranea-abundante-e-importante/>
- Benel, D. I. (2023). *Tratamiento alternativo con biomasa vegetal para disminuir la concentración de arsénico en agua subterránea utilizada como agua potable en el distrito de Mórrope* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11495>

- Calixto, N., Carrillo, G., & Bonilla, C. (2022). Fundamentos de la contaminación de aguas subterráneas. Bogotá - Ecoe Ediciones S.A.S.
<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6722>
- Cabrera Vásquez, M. (2024, agosto 15). *Investigan posible daño a la salud por agua contaminada en Ferreñafe*. Diario Correo.
<https://diariocorreo.pe/edicion/lambayeque/investigan-posible-dano-a-la-salud-por-agua-contaminada-en-ferrenafe-noticia/?ref=dcr>
- Dey, S., Basha, S., Babu, G., & Nagendra, T. (2021). Characteristic and biosorption capacities of orange peels biosorbents for removal of ammonia and nitrate from contaminated water. *Cleaner Materials*, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100001>
- Dey, S., Uppala, P., Sambangi, A., Haripavan, N., & Veerendra, G. T. N. (2022). Recycling of solid waste biosorbents for removal of nitrates from contaminated water. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 2, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100014>
- Golie, W., & Upadhyayula, S. (2017). An investigation on biosorption of nitrate from water by chitosan based organic-inorganic hybrid biocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 97, 489-502. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.066>
- Grönwall, J., & Danert, K. (2020). Regarding Groundwater and Drinking Water Access through A Human Rights Lens: Self-Supply as A Norm. *Water*, 12(2), Article 2.
<https://doi.org/10.3390/w12020419>
- Hernández, J., Ceballos, C., Salazar, M., Ardilla, A., & Hernández, R. (2021). Evaluation of orange peel (*Citrus sinensis*) as a source of bioactive components and its use as a bioadsorbent. *Desalination and Water Treatment*, 231, 348-358.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27499>
- Jendia, A., Hamzah, S., Abuhabib, A., & El-Ashgar, N. (2020). Removal of nitrate from groundwater by eggshell biowaste. *Water Supply*, 20(7), 2514-2529.
<https://doi.org/10.2166/ws.2020.151>

- Kalaruban, M. (2017). *Nitrate Removal from Water using Surface-Modified Adsorbents* [Tesis Doctoral, University of Technology Sydney (Australia)]. En PQDT - Global.
<https://www.proquest.com/docview/3039731349/abstract/A506BDAAB3D4538PQ/8>
- Lachassagne, P. (2021). What Is Groundwater? How to Manage and Protect Groundwater Resources. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 76(Suppl. 1), 17-24.
<https://doi.org/10.1159/000515024>
- Li, P., Karunanidhi, D., Subramani, T., & Srinivasamoorthy, K. (2021). Sources and Consequences of Groundwater Contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00805-z>
- Liu, Y., Zhang, X., & Wang, J. (2022). A critical review of various adsorbents for selective removal of nitrate from water: Structure, performance and mechanism. *Chemosphere*, 291, 132728. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132728>
- Michael-Igolima, U., Abbey, S. J., Ifelebuegu, A. O., & Eyo, E. U. (2023). Modified Orange Peel Waste as a Sustainable Material for Adsorption of Contaminants. *Materials*, 16(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ma16031092>
- Mishra, S., Suresh, S., Chauhan, M. S., Subbaramaiah, V., & Gosu, V. (2022). Recent Progress in Carbonaceous Materials for the Nitrate Adsorption. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 26(3), 04022013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000699](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000699)
- Najeeb, S., V, A., S, S., G S, A., & Surendran, S. (2021). Nitrate Removal from Water Using Bio Adsorbent. *The International Conference on Emerging Trends in Engineering – GEC*
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3976670>
- Oscoco, G. (2020). *Determinación de la calidad de agua subterránea para consumo humano* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur].
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1465>
- Poluri, V., Madaraboyina, N., Vemula, S., & Jakkireddy, S. (2022). Removal of nitrates from water by environmental waste materials. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 12, 48-52. <https://doi.org/10.9790/9622-1201024852>

- Richa, A., Touil, S., & Fizir, M. (2022). Recent advances in the source identification and remediation techniques of nitrate contaminated groundwater: A review. *Journal of Environmental Management*, 316, 115265.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115265>
- Shahaji, S., Tanaji, C., & Suhas, J. (2023). Removal of nitrate from aqueous solution by using orange peel and wheat straw. *Materials Today: Proceedings*, 73, 468-473.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.021>
- Shukla, S., & Saxena, A. (2020). Sources and leaching of nitrate contamination in groundwater. *Current Science*, 118(6), 883-891. <https://doi.org/doi:10.18520/cs/v118/i6/883-891>
- Suthar, S., Bishnoi, P., Singh, S., Mutiyar, P. K., Nema, A. K., & Patil, N. S. (2009). Nitrate contamination in groundwater of some rural areas of Rajasthan, India. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1), 189-199. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.111>
- Villa, F. (2022). Evaluación de la capacidad adsorbente de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y coco (*Cocos nucífera*) para la remoción de metales pesados (Cr, Pb) [Tesis de maestría, Universidad Estatal de Milagro].
<https://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/6002>
- Vijaya Kumar, M., & Prasad Raju, H. (2023). Nitrate removal from aqueous solution by orange peels as an adsorbent. *Journal of Critical Reviews*, 7(4), 1224–1231.
<https://doi.org/10.31838/jcr.07.04.219>

Capítulo VIII: Anexos

Figura 23

Tamizado a malla 200 del bioadsorbente



Figura 24

Medición de pH del bioadsorbente



Figura 25

pH del agua para extracción de pectina



Figura 26

Extracción ácida de la pectina



Figura 27

Precipitación de pectina con etanol



Figura 28

Filtrado al vacío de la pectina



Figura 29

Toma de muestra de agua en el pozo 2 en Ferreñafe



Figura 30

Reactivos para medición de nitratos marca HANNA



Figura 31

Aplicación del bioadsorbente y corrida de blanco



Figura 32

Aplicación del bioadsorbente con tres réplicas



Figura 33

Centrifugado de muestras



Figura 34

Dilución y filtrado de las muestras



Figura 35

Muestra filtrada y sin filtrar



Figura 36

Medición de nitratos en el fotómetro HANNA HI83399





LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE, INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER

Para: Oscar Raúl Benavides Morante

Aprobado por: Dra. Adriana Edith Larrea Valdivia

Analista: Lic. Dayam Mitchell Mamani Chuctaya

Informe de ensayo No: 343-25			
VERSIÓN	RECEPCIÓN DE MUESTRA	EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS	EMISIÓN DE INFORME
1	08-Sep-2025	08-Sep-2025	08-Sep-2025
Descargo de Responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización del LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE, INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.			



www.hannainst.com.mx

HANNAPRO, S.A. DE C.V.

RFC: HAN9903167P0

REGIMEN FISCAL: 601 - General de Ley Personas Morales

EFEECTO DEL COMPROBANTE: INGRESO

LUGAR DE EXPEDICIÓN: 08400

FACTURA B 11366
FECHA/HORA DE CERTIFICACION

25-07-2025T16:15:30

FECHA/HORA DE EMISION

25-07-2025T16:15:30

RECEPTOR DE COMPROBANTE FISCAL

38218 BENAVIDES MORANTE OSCAR RAUL

RFC: XEXX010101000

NUMERO DE ORDEN DE COMPRA:

AGENTE RESPONSABLE: 40-I.A. NADXIELI CRUZ GARCIA

BANCO DE REFERENCIA

BANCO: BBVA.BANCOMER, S.A.

No. DE CUENTA 0163731138

CLABE: 0121 800 0163 7311383

SWIFT: BCMRMXMPYM

COMPROBANTE FISCAL

CDFDCA4F-69A4-11F0-9C64-7BE930A7FB72

NO. DE CERTIFICADO DIGITAL

00001000000505557807

NO. DE CERTIFICADO SAT

00001000000505600468

Dirección fiscal

ANTONIO VIGIL CHÁVEZ 177,VILLARICA Col.

MOTUPE DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE C.P. 14201, Perú

Tel: 81 1340-1205

Correo: latinhanna@hannainst.com.mx; traficolatam@hannainst.com.mx

CONTACTO:OSCAR RAUL BENAVIDES MORANTE

Dirección de entrega

ENTREGA

ANTONIO VIGIL CHÁVEZ 177, VILLARICA

14201 MOTUPE

PERÚ

Tel:

Correo: latinhanna@hannainst.com.mx; traficolatam@hannainst.com.mx

VIA DE EMBARQUE:DHL

Recibe:

CANTIDAD	CLAVE DEL PRODUCTO	CLAVE DE UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	DESC.	IMPUESTO Y/O CUOTA	IMPORTE
2.00	HI93728-01	H87	Reactivos para nitrato, método de reducción de cadmio, para 100 pruebas (NO3--N) SAT:41116105	91.20	0.00	IVA 0.00	182.40

ORIGEN: RUMANIA

PEDIMENTO: 25 43 3167 5000086

FECHA: 28/05/2025

FORMA DE PAGO: 03 - Transferencia electrónica de fondos
METODO DE PAGO: PUE - Pago en una sola exhibición
USO DE CFDI: P01 - Por definir
CONDICIONES DE PAGO: CONTADO
CANTIDAD CON LETRA: (CIENTO OCHENTA Y DOS DOLARES 40/100 USD)

Subtotal: 182.40 USD
IVA: 0.00 USD
Total: 182.40 USD