

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



Presentado por:

Bach. NOEMÍ MELISA CCASA BARBOZA

EFFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE
COPOLÍMERO *Nostoc sphaericum* ATOMIZADO Y
NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE
METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA

Asesor:

Dr. DAVID CHOQUE QUISPE

Co – Asesor:

Dra. YUDITH CHOQUE QUISPE

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL

ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ

2024



APROBACIÓN DEL ASESOR

Quién suscribe:

DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, DAVID CHOQUE QUISPE, por la presente:

CERTIFICA

Que, el BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL, NOEMÍ MELISA CCASA BARBOZA, ha iniciado el proceso de asesoramiento y firmamos el compromiso hasta la culminación satisfactoria del Informa Final del Tesis intitulada.

EFFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE COPOLÍMERO *Nostoc sphaericum* ATOMIZADO Y NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Andahuaylas, 17 de abril 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSE MARIA ARGUEDAS
Dr. Ing. David Choque Quispe
DOCENTE

Dr. DAVID CHOQUE QUISPE

Asesor

Bach. Noemí Melisa Ccasa Barboza

Tesista



APROBACIÓN DEL CO-ASESOR

Quién suscribe:

DOCTORA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, YUDITH CHOQUE QUISPE, por la presente:

CERTIFICA

Que, el BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL, NOEMÍ MELISA CCASA BARBOZA, ha iniciado el proceso de asesoramiento y firmamos el compromiso hasta la culminación satisfactoria del Informa Final del Tesis intitulada.

EFFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE COPOLÍMERO *Nostoc sphaericum* ATOMIZADO Y NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Andahuaylas, 17 de abril 2023



Dra. YUDITH CHOQUE QUISPE

Co-Asesor



Bach. Noemí Melisa Ccasa Barboza

Tesista



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Noemí Melisa CCasa Barboza., **identificado (a) con DNI N° 75850870**.....
...de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Declaro bajo juramento que el Proyecto de Tesis Titulado:
"EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE COPOLÍMERO *Nostoc sphaericum*
ATOMIZADO Y NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO EN
SOLUCIÓN ACUOSA"

Es auténtico y no vulnera los derechos de autor. Además, su contenido es de entera
responsabilidad del autor del proyecto, quedando la UNAJMA exenta de toda responsabilidad
en caso de atentar contra la Ley de propiedad intelectual y derechos de autor.

Andahuaylas, 17 de Abril de 2024


.....
Bach. Noemí Melisa CCasa Barboza
Firma del Tesista
N° DNI: 75850870
E-mail: 1001320181@unajma.edu.pe
N° Celular: 963980084


.....
Dr. David Choque Quispe
Firma del Asesor
N° DNI: 25003361
E-mail: dchoque@unajma.edu.pe
N° Celular: 984563618


.....
Dra. Yudit Choque Quispe
Firma del Co-Asesor
DNI: 42933337
E-mail: ychoque@unajma.edu.pe
N° Celular: 931818381



FACULTAD DE INGENIERIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la Av. José María Arguedas del Local Académico SL01 (Ccoyahuacho) en el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de San Jerónimo de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 09:00 horas del día 24 de abril del año 2024, se reunieron los docentes: Mtro. Luz Maribel Surichaqui Vivanco, Mtro. Carlos Eduardo Dueñas Valcárcel, Mtro Alexei Reynaga Medina, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE COPOLÍMERO *Nostoc sphaericum* ATOMIZADO Y NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA", cuya autora es la Bachiller en Ingeniería Ambiental **NOEMÍ MELISA CCASA BARBOZA**, y el Asesor, Dr. David Choque Quispe y Co-asesora, Dra. Yudiith Choque Quispe, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador **ACORDÓ: APROBAR** por **UNANIMIDAD** a la Bachiller en Ingeniería Ambiental **NOEMÍ MELISA CCASA BARBOZA**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
15	QUINCE	BUENO

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

Mtro. Luz Maribel Surichaqui Vivanco
Presidente del Jurado Evaluador

Mtro. Carlos Eduardo Dueñas Valcárcel
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Mtro Alexei Reynaga Medina
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

La tesis: “EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE COPOLÍMERO *Nostoc sphaericum* ATOMIZADO Y NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA”, para optar el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL, ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

PRESIDENTE: Mtro. Luz Maribel Surichaqui Vivanco

PRIMER MIEMBRO: Mtro. Carlos Eduardo Dueñas Valcárcel

SEGUNDO MIEMBRO: Mtro. Alexei Reynaga Medina

Habiendo sido aprobada por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 24 del mes de abril de 2024

Andahuaylas, 24 de abril de 2024

Mtro. Luz Maribel Surichaqui Vivanco
Presidenta de Jurado

Mtro. Carlos Eduardo Dueñas Valcárcel
Primer miembro

Mtro. Alexei Reynaga Medina
Segundo miembro



Andahuaylas, 20 de mayo de 2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería, expide la:

Constancia

De porcentaje de similitud (05%) según el software Turnitin, al informe final de investigación: Efecto del pH y la concentración de copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en la remoción de azul de metileno en solución acuosa. Presentado por el Bach. Noemí Melisa Ccasa Barboza cuyo asesor es el Dr. David Choque Quispe y Coasesora la Dra. Yudith Choque Quispe.

Dra. María del Carmen Delgado Laimé
Presidente de la Unidad de Investigación de la
Facultad de Ingeniería

MSc. Fidelia Tapia Tadeo
Miembro de la
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

M.Sc. Richard Carrión Abollaneda
Miembro de la
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

C.c
Archivo.

INFORME DE ORIGINALIDAD

El que suscribe asesor del trabajo de investigación/tesis, titulada
“EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE COPOLÍMERO *Nostoc sphaericum* ATOMIZADO Y NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA” presentado por la Br. Noemí Melisa Ccasa Barboza, con DNI N° 75850870, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, conforme al reglamento vigente, verificándose un porcentaje de **5% de similitud general**. Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 24 de abril de 2024

 UNIVERSIDAD
SAN AGUSTÍN
Dr. Ing. David Choque Quispe
DOCENTE

Dr. David Choque Quispe
Asesor de tesis
DNI N°: 25003361


Noemí Melisa Ccasa Barboza
Bachiller
DNI N°: 75850870

INFORME DE ORIGINALIDAD

La que suscribe Co - asesora del trabajo de investigación/tesis, titulada **“EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE COPOLÍMERO *Nostoc sphaericum* ATOMIZADO Y NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA”** presentado por la **Br. Noemí Melisa Ccasa Barboza**, con DNI N° **75850870**, de la Escuela Profesional de **Ingeniería Ambiental**, para optar el título profesional de **Ingeniero Ambiental**.
Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, conforme al reglamento vigente, verificándose un porcentaje de **5% de similitud general**.
Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 24 de abril de 2024



Dra. Judith Choque Quispe
Co – Asesora de tesis
DNI N°: 42933337



Noemí Melisa Ccasa Barboza
Bachiller
DNI N°: 75850870

Se adjunta:

1. Reporte firmado, generado por el software.

PAPER NAME

EFFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE COPOLÍMERO Nostoc Sphaericum ATOMIZADO Y NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA

AUTHOR

Noemí Melisa CCASA BARBOZA

WORD COUNT

23887 Words

CHARACTER COUNT

128818 Characters

PAGE COUNT

132 Pages

FILE SIZE

2.6MB

SUBMISSION DATE

Jan 12, 2024 9:20 AM GMT-5

REPORT DATE

Jan 12, 2024 9:22 AM GMT-5

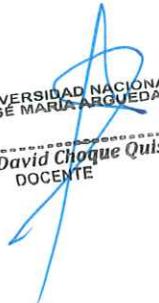
● **5% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 5% Internet database
- 3% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database

● **Excluded from Similarity Report**

- Quoted material
- Cited material
- Small Matches (Less than 30 words)



UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSE MARIA ARGUEDAS
Dr. Ing. David Choque Quispe
DOCENTE



Yudith Choque Quispe
DNI: 42933337
CO-ASESORA



Bach: Noemí Melisa Casas
Barboza
DNI: 75850870

● **5% Overall Similarity**

Top sources found in the following databases:

- 5% Internet database
- 3% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database

TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	link.springer.com Internet	<1%
2	repositorio.unajma.edu.pe Internet	<1%
3	atenaeditora.com.br Internet	<1%
4	etd.repository.ugm.ac.id Internet	<1%
5	repositorio.utn.edu.ec Internet	<1%
6	dergipark.org.tr Internet	<1%
7	honors.libraries.psu.edu Internet	<1%
8	repositorio.upeu.edu.pe Internet	<1%
9	bosaljournals.com Internet	<1%



JOSE INAKIA ARGUEDAS
Dr. Ing. David Choque Quispe
DOCENTE

Yudith Choque Quispe

Yudith Choque Quispe
DNI: 42933337
CO - ASESORA

Barbara Melissa Casas

Barbara Melissa Casas
Sources overview
DNI: 75850870

10	hdl.handle.net	Internet	<1%
11	cris.continental.edu.pe	Internet	<1%
12	onepetro.org	Internet	<1%
13	dspace.uce.edu.ec	Internet	<1%
14	ouci.dntb.gov.ua	Internet	<1%
15	rmiq.org	Internet	<1%
16	revistas.unal.edu.co	Internet	<1%
17	gcris.ktun.edu.tr	Internet	<1%
18	revistas.ucr.ac.cr	Internet	<1%
19	theses.univ-batna.dz	Internet	<1%
20	dspace.ucuenca.edu.ec	Internet	<1%
21	iwaponline.com	Internet	<1%

- 22 repository.javeriana.edu.co <1%
Internet
- 23 scielo.sa.cr <1%
Internet



UNIVERSIDAD JAVERIANA
JOSE MARIA ARGUEDAS

Dr. Ing. David Choque Quispe
DOCENTE

Yudith Choque Quispe
DNI 42933337
CO-ASESORA

Bach. Neemi Melissa Casa
Barboza
DNI: 75850870

Dedicatoria

A Dios, por permitirme llegar hasta aquí, por darme fortaleza ante las adversidades, por proteger y bendecir a mi familia.

A mis padres, Emiliano y Florentina quienes son mi fortaleza y soporte, por su gran amor, su apoyo incondicional y por los valores que forjaron en mí.

A mi hermana Lizeth por su amor, por alegrar mis días, por su apoyo y comprensión, asimismo a mi hermano Saúl por fortalecerme.

Noemi Melisa Ccasa Barboza

Agradecimientos

A Emiliano y Florentina, por su infinito amor, apoyo y esfuerzo para lograr culminar la presente investigación, a Lizeth y Saúl por su exigencia.

A la Universidad Nacional José María Arguedas constituido por sus autoridades y docentes, por la experiencia y los conocimientos impartidos, asimismo por la oportunidad de realizar investigación en los laboratorios.

A los asesores, Dr. David Choque Quispe y Dra. Yudith Choque Quispe, por la orientación y compromiso durante el proceso y la culminación de la presente investigación.

Al Laboratorio de Investigación de Materiales Avanzados para el Tratamiento de Aguas y Alimentos (LIMTA), encargada Dra. Betsy Suri Ramos.

Al Laboratorio de Investigación de Nanotecnología (LINA) presidida por el Dr. Carlos Ligarda Samanez.

Índice

Aprobación del Asesor	ii
Aprobación del Co-asesor	iii
Declaración Jurada de autenticidad	iv
Copia del acta de sustentación.....	v
Aprobación del Jurado Evaluador	vi
Resultado de Informe de Similitud del trabajo de Investigación.....	vii
Dedicatoria.....	xiv
Agradecimientos	xv
Índice	xvi
Índice de Figuras	xix
Índice de Tablas.....	xxi
Abreviaturas, Símbolos y Unidades	xxiii
Resumen	1
Abstract.....	2
Chumasqa	3
Introducción.....	4
Capítulo I: Problema de Investigación	5
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	5
1.2. Formulación del Problema.....	6
1.2.1. Problema General	6
1.2.2. Problema Específico	6
1.3. Justificación	6
1.4. Objetivos de la Investigación.....	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivo Específico	7

Capítulo II: Antecedentes	9
2.1. Antecedente Internacionales	9
2.2. Antecedentes Nacionales	13
Capítulo III: Marco Teórico	17
3.1. Bases Teóricas	17
3.1.1. Concentración de Copolímero	17
3.1.2. Potencial de Hidrogeniones	20
3.1.3. Remoción de AM	21
3.2. Marco conceptual.....	27
Capítulo IV: Metodología de la Investigación	31
4.1. Tipo.....	31
4.2. Diseño de Investigación.....	31
4.3. Operacionalización de Variable.....	32
4.4. Material de Estudio	33
4.4.1. Población	33
4.4.2. Muestra	33
4.4.3. Muestreo	33
4.5. Materiales, Equipos y Reactivos.....	33
4.6. Técnicas de Investigación e Instrumentos	36
4.6.1. Técnicas de Recolección de Datos	36
4.6.2. Instrumentos de Recolección de Datos.....	36
4.6.3. Procedimientos	36
4.6.4. Validación del Instrumento	44
4.6.5. Procesamiento y Análisis de Datos	44
Capítulo V: Resultados y Discusiones	45
5.1. Curva de Calibración de Absorbancia y Longitud de Onda	45
5.2. Punto de Carga Cero (PCC).....	46

5.3. Potencial ζ (Zeta)	47
5.4. Tamaño de Partícula	49
5.5. Análisis FTIR de los Compuestos y Adsorción.....	51
5.6. Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	54
5.7. Efecto de la Concentración del NC/NA y pH en la Adsorción de AM.	58
5.8. Efecto de la Concentración del NC/NA y pH en la Remoción de AM.	61
5.9. Modelamiento de Porcentaje de Remoción de Azul de Metileno mg/L....	64
5.10. Optimización del Porcentaje de Remoción	66
5.11. Cinética de Adsorción	67
Conclusiones.....	72
Recomendaciones	73
Referencias Bibliográficas.....	74
ANEXOS	87

Índice de Figuras

Figura 1 Proceso del tratamiento de la arcilla natural	37
Figura 2 Proceso de la activación de la NA	38
Figura 3 Proceso de la atomización del NC	39
Figura 4 Proceso de la obtención del NC/NA y el tratamiento de AM.....	40
Figura 5 Curva de calibración del color azul de metileno.....	46
Figura 6 Punto de carga cero	47
Figura 7 Espectro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) de NC, NA, copolímero, tratamiento óptimo.....	53
Figura 8 Imagen SEM del Nostoc sphaericum atomizado a 100 μm	55
Figura 9 Imagen SEM nanoarcilla activada a 50 μm	56
Figura 10 Imagen SEM copolímero NC/NA a 100 μm	56
Figura 11 Imagen SEM del tratamiento óptimo de AM a 100 μm	57
Figura 12 Gráfica de efectos principales de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM.	59
Figura 13 Superficie de respuesta para el efecto de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM.	60
Figura 14 Gráfica de efectos principales de la concentración del NC/NA y pH en la remoción de AM.....	62
Figura 15 Superficie de respuesta para el efecto de la concentración del NC/NA y pH en la remoción de AM.....	63
Figura 16 Modelo de pseudo primer orden	70
Figura 17 Modelo de pseudo segundo orden.....	71
Figura 18 Nostoc sphaericum y Nanoarcilla activada.....	95
Figura 19 Curva de calibración del AM.	95

Figura 20	Soluciones para evaluar PCC, potencial ζ (Zeta) y tamaño de partícula.	96
Figura 21	Formulación del NC/NA.....	96
Figura 22	Sonicación de la solución de NC/NA.	97
Figura 23	Muestras para el análisis FTIR.....	97
Figura 24	Preparación de la solución acuosa de AM	98
Figura 25	Solución de AM a 10 ppm	98
Figura 26	Tratamientos en el agitador magnético	99
Figura 27	Resultados del tratamiento de AM.....	99
Figura 28	Resultados de la remoción de AM	100
Figura 29	Tratamientos optimizados	100
Figura 30	Lectura de tratamientos optimizados	101
Figura 31	Tratamientos de cinética de adsorción	101
Figura 32	Filtración para cinética de adsorción y los tratamientos óptimos	102
Figura 33	Muestras de AM tratada para evaluar la cinética.....	102

Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación taxonómica del <i>Nostoc sphaericum</i>	19
Tabla 2 Diseño de investigación factorial 3^2	31
Tabla 3 Materiales	34
Tabla 4 Equipos	35
Tabla 5 Reactivos	35
Tabla 6 Concentración y absorbancia del AM	45
Tabla 7 Potencial ζ del NC/NA	48
Tabla 8 Tamaño de partícula de NC/NA	50
Tabla 9 Efecto de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM.	58
Tabla 10 Efecto de la concentración de NC/NA y pH en la remoción de AM.....	61
Tabla 11 Parámetros del modelamiento	65
Tabla 12 Optimización del proceso de remoción	66
Tabla 13 Porcentaje de remoción óptimo	67
Tabla 14 Datos experimentales de la cinética de adsorción de AM.....	68
Tabla 15 Parámetros de modelos cinéticos de la adsorción de AM	69
Tabla 16 Análisis de varianza.....	89
Tabla 17 Resumen del modelo	89
Tabla 18 Medias del efecto de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM	90
Tabla 19 Análisis de varianza.....	90
Tabla 20 Resumen del modelo	91
Tabla 21 Medias del efecto de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM	91
Tabla 22 Estadísticas de regresión.....	92

Tabla 23 Análisis de varianza del modelamiento	92
Tabla 24 Valores de Optimización	93
Tabla 25 Restricciones de la optimización	93
Tabla 26 Datos estadísticos del modelo de primer orden	94
Tabla 27 Datos estadísticos del modelo de segundo orden	94

Abreviaturas, Símbolos y Unidades

AD71	: Color azul directo 71
AM	: Azul de metileno
°C	: Grados Celsius
cm ⁻¹	: Centímetro recíproco para longitud de onda
Dr./Dra	: Doctor(ra)
FTIR	: Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (Por sus siglas en ingles)
g	: Gramo
g/l	: Gramo por litro
HCl	: Ácido clorhídrico
HMB-1M	: Arcilla de la localidad de Huancabamba, Andahuaylas
HUT-1M	: Arcilla de la localidad de Huanta, Ayacucho
IR	: Infrarrojo
K	: Unidad Kelvin para temperatura
Kg	: Kilogramo
L	: Litro
l/s	: Litro por segundo
LFSP	: <i>Abelmoschus esculentus</i> y polvo de semilla procesada

LIMTA	: Laboratorio de Investigación de Materiales Avanzados para el Tratamiento de Aguas y Alimentos
LINA	: Laboratorio de Investigación de Nanotecnología
M	: Molaridad
m ³	: Metros cúbicos
m ³ /h	: Metro cúbico por hora
mg/L	: Miligramo por litro
mg/g	: Miligramo por gramo
mL	: Mililitro
min	: Minutos
MSR	: Metodología de superficie de respuesta
mV	: Milivoltio
NA	: Nanoarcilla
NaOH	: Hidróxido de Sodio
NC	: <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado
NC/NA	: Copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado/ Nanoarcilla
nm	: Nanómetro
OPR	: Tratamiento óptimo de remoción
PCC	: Punto de carga cero
pH	: Potencial de Hidrogeniones

ppm	: Partes por millón
R^2	: Coeficiente de determinación
RNA	: Modelado por redes Neuronales Artificiales
RPM	: Revoluciones por minuto
SEM	: Microscopía Electrónica de Barrido
<i>Sp</i>	: Especie
Tn	: Tonelada
μm	: Micrómetro
ζ	: Potencial zeta
%	: Porcentaje

Resumen

La preocupación por el deterioro de los ecosistemas acuáticos por la falta de tratamiento de efluentes de la industria textil ha motivado buscar una solución a esta problemática a través del uso de adsorbentes naturales. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del pH y la concentración del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla (NC/NA) para remover azul de metileno (AM) en solución acuosa. La investigación fue del tipo experimental con enfoque cuantitativo y aplicada, los experimentos tuvieron un diseño factorial de 3^2 . Se realizó la caracterización del copolímero a través del análisis de punto de carga cero, potencial ζ , tamaño de partícula, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Las soluciones de AM se ajustaron a pH 5, 6 y 8, y se trató con NC/NA a 20, 30 y 50 ppm. Se realizó el modelamiento y optimización del proceso mediante metodología de superficie de respuesta, a partir del cual se estudió la cinética de adsorción. Los resultados evidenciaron que la remoción osciló entre $72.59 \% \pm 1.48$ y $97.98 \% \pm 0.50$ influenciado por el pH y la concentración de NC/NA (p-value < 0.05). La ecuación de modelamiento se ajustó al modelo cuadrático con interacción, reportando remoción óptima del $97.85 \% \pm 0.00$ a pH 6.8 y concentración de NC/NA 39.2 ppm. El estudio de la cinética de adsorción se ajustó al modelo de segundo orden. Se concluye que el copolímero elaborado con *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla activada (NC/NA), presenta alta remoción del colorante sintético AM y se constituye en un material con alta potencialidad para remover colorantes medio acuoso.

Palabras clave: *Nostoc sphaericum* atomizado, nanoarcilla, azul de metileno, adsorción, modelamiento, optimización, cinética.

Abstract

Concern about the deterioration of aquatic ecosystems due to the lack of treatment of effluents from the textile industry has motivated the search for a solution to this problem through the use of natural adsorbents. The objective of this work was to determine the effect of pH and concentration of atomized *Nostoc sphaericum* copolymer and nanoclay (NC/NA) to remove methylene blue (AM) in aqueous solution. The research was of the experimental type with a quantitative and applied approach, the experiments had a factorial design of 3^2 . The characterization of the copolymer was carried out through zero charge point analysis, ζ potential, particle size, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM). The AM solutions were adjusted to pH 5, 6 and 8, and treated with NC/NA at 20, 30 and 50 ppm. The modeling and optimization of the process was carried out using response surface methodology, from which the adsorption kinetics was studied. The results showed that the removal ranged between $72.59\% \pm 1.48$ and $97.98\% \pm 0.50$ influenced by the pH and the concentration of NC/NA (p-value < 0.05). The modeling equation fits the quadratic model with interaction, reporting optimal removal of $97.85\% \pm 0.00$ at pH 6.8 and NC/NA concentration 39.2 ppm. The study of adsorption kinetics was adjusted to the second order model. It is concluded that the copolymer made with atomized *Nostoc sphaericum* and activated nanoclay (NC/NA), presents high removal of the AM synthetic dye and constitutes a material with high potential to remove dyes in an aqueous medium.

Keywords: Atomized *Nostoc sphaericum*, nanoclay, methylene blue, adsorption, modeling, optimization, kinetics.

Chumasqa

Yakupi ecosistemakuna waqlliyninmanta llakikuymi, industria textil nisqamanta efluentekuna mana hampisqa kasqanrayku, chaymi kallpancharun kay sasachakuypa allichakuyninta maskanankupaq, adsorbentes naturales nisqawan. Kay llamkaypa munayninqa karqan pH nisqapa, concentración nisqapa copolímero atomizado *Nostoc sphaericum* nisqapa, nanoarcilla (NC/NA) nisqapa ruwayninta, yakuyuq solución nisqapi azul metileno (AM) nisqa hurqunapaq. Chay investigacionqa experimentalmi karqa enfoque cuantitativo y aplicado nisqawan, chay experimentokunaqa 3² diseño factorial nisqayuqmi karqa. Chay copolímero nisqapa caracterizacionninqa ruwakurqa análisis punto de carga cero (PCC) nisqawan, potencial ζ nisqawan, tamaño de partícula nisqawan, espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR) nisqawan, microscopía electrónica de escaneo nisqawan (SEM). Chay AM nisqapa solucionninkunaqa pH 5, 6, 8 nisqamanmi allinchasqa karqa, chaymantam NC/NA nisqawan 20, 30, 50 ppm nisqapi hampisqa karqa. Chaymantaqa ruwakurqa chay procesopa modelado nisqa, optimización nisqapas metodología superficial de respuesta nisqawanmi, chaymantam estudiasqa cinética de adsorción nisqa. Chay ruwasqakunam qawarichirqa chay hurquyqa $72,59\% \pm 1,48$ manta $97,98\% \pm 0,50$ kama influenciasqa pH nisqawan chaynallataq NC/NA nisqapa concentracionninwan ($p\text{-value} < 0,05$). Chay ecuación de modelado nisqahmi churakurqa chay modelo cuadrático nisqaman interacción nisqawan chaymantam chay valor óptimo nisqa $97,85\% \pm 0,00$ pH 6,8 nisqapi chaymanta concentración NC/NA 39,2 ppm nisqapi. Chay cinético de adsorción nisqamanta yachayqa iskay kaq orden nisqa modelo nisqamanmi allinchasqa karqa. Tukuchikunmi chay copolímero ruwasqa *Nostoc sphaericum* atomizadawan hinaspam nanoarcilla activadawan (NC/NA), chaymi qawachin hatun hurquyta AM sintético tintemanta hinaspam huk materialta ruwan hatun atiyiniyuq tintekunata hurqunanpaq huk medio acuosomanta.

Sapaq simikuna: *Nostoc sphaericum* atomizado, nanoarcilla, azul metileno, adsorción, modelado, optimización, cinética nisqa.

Introducción

En el Perú actualmente la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales ha tomado una mayor demanda y relevancia, sin embargo, el tratamiento de las aguas industriales no tiene el mismo progreso causando gran preocupación por los impactos negativos en el ambiente. Una gran cantidad de las industrias textiles emiten sus aguas sin un previo o deficiente tratamiento ya que muchas de las tecnologías que actualmente existen son costosas y con difícil manejo operativo. El avance investigativo y tecnológico ha permitido conocer nuevos métodos de tratamiento que son de fácil acceso, manejo sencillo, eficientes y económicos que se pueden implementar. Uno de los métodos es la adsorción a través del uso de la materia orgánica proveniente de la naturaleza como los residuos agrícolas, arcillas, algas, almidón de papa, maíz entre otros.

Para obtener el adsorbente a partir de la materia orgánica se realiza diferentes procesos de tratamiento, activación y atomización, gracias estos procedimientos el mecanismo de remoción presenta mejores resultados. La arcilla es un material abundante y de fácil acceso, mientras que el *Nostoc sphaericum* se puede encontrar en grandes cantidades en la temporada de lluvias, la ventaja que tienen es que ambos materiales tienen la capacidad de remover al aplicarlos en pequeñas cantidades.

Esta investigación tiene como objetivo determinar el efecto del pH y concentración de copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado (NC) y nanoarcilla (NA) en la remoción de azul de metileno AM, dado que los materiales empleados son de fácil adquisición y presentan una alta capacidad de adsorción haciéndolo factible para su implementación, de esta manera se busca contribuir el tratamiento del AM que es un colorante ampliamente usado, tóxico en altas concentraciones, no biodegradable y carcinógeno.

Capítulo I: Problema de Investigación

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

El crecimiento de la población mundial y el avance tecnológico han tomado mayor relevancia en las últimas décadas causando diferentes alteraciones en el ambiente, una de las problemáticas más grandes es el vertimiento de las aguas residuales domésticas e industriales sin un previo tratamiento que causan impactos en el medio al que son vertidos.

Según Shooto et al. (2020), la industria textil de colorantes sintéticos tuvo un fuerte crecimiento a nivel mundial, estos vierten sus efluentes con deficiente o sin un previo tratamiento, en el Perú también se registra un gran número de industrias que se dedican a esta actividad y producto de ello en algunas zonas del río Rímac se observa aguas de coloración azul y gris, actualmente Zaruma et al, (2018), estiman que durante el año se producen 700 000 Tn de colorantes sintéticos que se caracterizan por tener una estructura aromática muy compleja.

Uno de los colorantes con mayor uso es el AM que en dosis excesiva produce efectos secundarios como vómitos, toxicidad respiratoria, irritación de las mucosas, piel y ojo Akbari et al., (2015). Por otro lado, diferentes investigaciones demuestran que la presencia del color AM en altas concentraciones sobre medios acuáticos impiden el paso de la luz, inhiben el proceso metabólico y fotosintético de los seres vivos, causando un deterioro en los ecosistemas acuáticos.

La normativa del Perú aún no es específica respecto a la regulación, fiscalización y supervisión de estas actividades, las normas actuales son transversales, por ejemplo, los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles. Finalmente, la falta de implementación de plantas de tratamiento de aguas industriales es otro factor muy importante que se suma a esta problemática.

Es por ello que la investigación propone el uso del copolímero NC/NA con la finalidad de remover el AM, de esta manera se pretende contribuir al cuidado del ambiente.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

- ¿Cuál será el efecto del pH y la concentración del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en la remoción de AM en solución acuosa?

1.2.2. Problema Específico

- ¿Cuál es el efecto de la concentración de copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en la remoción de AM en solución acuosa?
- ¿Cuál es el efecto del pH en la remoción de AM a través del uso del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en solución acuosa?
- ¿Cuál es la capacidad de remoción de color de AM en medio acuoso a través del uso del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla?

1.3. Justificación

Actualmente a nivel mundial la problemática ambiental de contaminación de los recursos hídricos por vertimiento de efluentes de la industria textil tuvo un crecimiento significativo, entre sus componentes principales están los colorantes como el AM que es uno de los más comunes, los impactos hacia el medio acuático son múltiples debido a que este insumo es un producto tóxico en concentraciones altas, al entrar en contacto con los seres humanos causa irritaciones en las mucosas, problemas de respiración y problemas gastrointestinales mientras que en el ecosistema inhibe el desarrollo metabólico de las plantas y de los organismos acuáticos (Khan et al. 2022), es por ello que el presente proyecto busca contribuir al tratamiento de los efluentes de la industria textil para solucionar la contaminación al recurso hídrico.

En las últimas décadas se han desarrollado diferentes métodos de tratamiento, sin embargo, muchos de ellos no son eficientes, son costosas o presentan un difícil manejo operacional. Kausar et al. (2020), mencionan que uno de los procesos con mejor eficacia en la eliminación de colorantes es la adsorción, basándonos en los principios teóricos de esta metodología se aplicará el uso de un adsorbente natural que es el copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado/nanoarcilla para lograr la remoción AM. Estos recursos empleados son abundantes en su forma natural y se encuentran en distintos puntos de la provincia de Andahuaylas, es por ello que al emplear el NC/NA se logrará aprovechar su capacidad de adsorción, incluso al modificarlos se maximizará su capacidad de adsorción, esto posibilita el empleo del adsorbente para tratar grandes cantidades de efluentes de AM y economizar el adsorbente.

Para lograr la remoción se realizarán ensayos de condicionamiento de pH y concentración del adsorbente que permitirá optimizar la capacidad de adsorción, de esta manera se aportará a la innovación tecnológica para el tratamiento de aguas industriales de tal forma que sea económica, eco amigable, eficaz y eficiente a través del uso de arcillas y cianobacterias. También se contribuirá como conocimiento teórico y metodológico para futuras investigaciones.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Determinar el efecto del pH y concentración de copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en la remoción de AM.

1.4.2. Objetivo Específico

- Determinar el efecto de la concentración de copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en la remoción de AM en solución acuosa.

- Determinar el efecto del pH en la remoción de AM a través del uso del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en solución acuosa.
- Determinar capacidad de remoción de color de AM en medio acuoso a través del uso del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla.

Capítulo II: Antecedentes

2.1. Antecedente Internacionales

Vacca et al. (2017), realizaron un estudio usando la microalga *Chlorella sp.* viva para evaluar la capacidad de remoción del color de las aguas residuales de una empresa dedicada a la textilera, utilizaron una microalga la cual fue cultivada durante un periodo en condiciones óptimas para un normal desarrollo, luego se tomó muestras del agua residual para incorporar a los bioensayos con microalga *Chlorella sp.* a (0.10, 0.20 y 0.30) de concentración en un volumen de 250 m³ de agua residual, se agitó a una temperatura de 25 °C durante 12 horas, posteriormente centrifugaron alícuotas a 3000 rpm durante 10 segundos dicho resultado fue analizado a través de la absorbancia por espectrofotometría los resultados mostraron que la microalga *Chlorella sp.* viva removió el 90%, 93.1%, 97.2% de colorante. Finalmente, concluyeron que la *Chlorella sp.* viva es eficiente en la remoción de colorante y otros parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual.

Cuesta y Nieto (2022), desarrollaron un estudio de remoción de colorantes aniónicos y catiónicos utilizando arcillas naturales (rojo y blanco) mediante análisis de cinética y adsorción considerando variables de estudio la concentración inicial, variación de pH y dosis del adsorbente, para ello prepararon 8 muestras de solución para cada uno de los colorantes en concentraciones que varían de 10 - 80 ppm el cual permitió establecer la curva de calibración y el rango de longitud de onda a través del espectrofotómetro, luego prepararon soluciones a 50 ppm de colorante en 50mL de agua el cual ajustaron a pH que varía de 2 a 10 al cual agregaron 0.5 g de adsorbente, también calcularon los isothermas a tiempos de contacto de (3, 6, 9, 12, 15, 30, 60 y 120 minutos) con concentraciones que variaron de 15 a 75 ppm. Los resultados mostraron que la arcilla roja presentó una mejor remoción 92 % que la blanca en medio alcalino, mientras que la arcilla blanca mostró una mejor remoción 91 % en medio ácido, asimismo la arcilla roja tuvo una remoción de 90 % a una

concentración de 0.30 g en colorantes catiónicos mientras que la arcilla blanca muestra una baja remoción al disminuir la dosis del adsorbente. Finalmente concluyeron que el pH y la dosis de arcilla influyen en la remoción de los colorantes y su eficiencia disminuye a partir del minuto 10.

Nayak y Pal (2017), estudiaron sobre la eliminación de AM mediante biosorbentes de *Abelmoschus esculentus* y el polvo de semilla procesada (LFSP), realizaron estudios de caracterización y evaluaron el efecto del pH, concentración de colorante, dosis del adsorbente, optimización de la adsorción y cinética de adsorción, para analizar el efecto del pH se condicionó la solución en pH de 3 a 10 al cual se aplicó una dosis de 1 a 10 g/L de adsorbente para una concentración de 100 mg/L de AM, mientras para evaluar el efecto de la dosis se preparó soluciones con 200 mg/L de AM y dosis de adsorbente que varía de 0,5 a 10g/L, asimismo prepararon soluciones de AM a concentraciones que varían de 100 a 800 mg/L, para determinar la cinética y los isothermas de adsorción se prepararon muestras a 200, 400 y 600 mg/L de AM con dosis de adsorbente que varía de 0.5 a 5 g/L a 303 °K de temperatura y 120 minutos de contacto, los resultados evidenciaron que el pH no modifica la estructura del AM y que la mejor adsorción se lleva a cabo en pH 6 a 8 , mientras que para el efecto de la dosis de adsorbente la remoción fue proporcional a la concentración obteniendo 95.53 % como mayor resultado a 5 g/L de LFSP y 24.15 % con la menor dosis. La cinética evidenció que la adsorción fue rápida hasta los 50 minutos y su tiempo óptimo fue de 120 minutos, mientras que al optimizar el proceso se adecuó al modelo de segundo orden con interacción del MSR, llegaron a la conclusión de que el pH, dosis de adsorbente y concentración de AM tienen efecto sobre la remoción de AM, el tiempo óptimo es 120 minutos y la MSR es mejor que el modelado de redes neuronales artificiales (RNA).

Albis et al. (2018), estudiaron sobre la adsorción de AM empleando la cáscara de yuca como adsorbente, el objetivo fue determinar las condiciones óptimas de tiempo,

concentración y temperatura para remover el color. Realizaron una modificación química, condicionamiento y caracterización a la cáscara de yuca para obtener una biomasa adecuada, luego prepararon una solución de AM en 50 mL de agua a una concentración de 125 mg/L de adsorbato al cual se agregó 0.25 g de adsorbente, esta solución fue llevada a un agitador magnético durante 2 horas a 300 rpm, este proceso permitió analizar la concentración final del AM, asimismo se condicionó las soluciones para evaluar el tiempo óptimo para el cual tomaron valores de (2, 5, 15, 40, 60, 100, 140 y 180) minutos, las temperaturas consideradas fueron de (25, 35 y 45)°C. Los resultados mostraron que al modificar la cáscara de yuca se obtuvo un 99.48 % de remoción, este resultado reveló que al modificar químicamente el adsorbente se obtuvo un porcentaje mayor de hasta 5 % de remoción respecto a la biomasa no modificada, sin embargo llegaron a la conclusión de que el pH, tiempo de contacto, concentración de adsorbente y tiempo de contacto no mostraron efecto alguno debido a que en las diferentes soluciones y comparaciones la remoción y capacidad de adsorción tomaron valores sin mucha diferencia.

Mota (2019), estudió sobre la capacidad de adsorción y degradación de la cáscara de tamarindo y el hongo *Phanerochaete chrysosporium* sobre el colorante azul directo 71. El proceso de obtención del biosorbente consistió en trituración, tamizaje lavado y secado. El procedimiento experimental consistió en preparar una solución de 10 mL al cual se agregó 10 mg/L de colorante AD71 y 0.1 g de biosorbente, dicha solución fue llevada a un agitador a 100 rpm a temperatura constante de 25 °C y a 12 tiempos diferentes de contacto que varían desde los 5 a 480 minutos con valores de pH que varían de 2 a 8, esta misma solución permitió analizar la FTIR y barrido electrónico. Los resultados mostraron que a mayor tiempo de contacto entre el adsorbente y adsorbato el porcentaje de remoción es mayor además que el tiempo de equilibrio alcanzado es de 120 minutos con una capacidad de 54 % de remoción, dicho valor obtenido fue importante para analizar la concentración óptima

del biosorbente. El estudio muestra que las concentraciones de biosorbente no tienen efecto alguno en el aumento de remoción a excepción de la dosis de 20 g/L que muestra un 58 % de remoción, sin embargo el parámetro que influye es el pH donde obtuvieron que a mayor acidez la remoción de color es superior respecto a un pH básico y que la temperatura con mejor resultado es de 40 °C. Finalmente en este estudio se llegó a la conclusión de que el biosorbente empleado es medianamente eficiente para la remoción del colorante Azul directo 71.

Bejarano et al.(2020), realizaron un estudio sobre la capacidad de adsorción de la arcilla activada en colorantes como el drimaren amarillo y el basic azul marino, estos colorantes son comunes en los efluentes de la industria textil. La metodología de la investigación consistió en caracterizar y preparar 3 tipos de arcilla natural lo cual consta de un triturado, pulverizado, tamizado y activado con un ácido, para encontrar la efectividad de este adsorbente se evaluó primero la curva de calibración con valores de pH 2, 4 ,6 ,8 ,10 y 12 en 50 mL de volumen a la cual se agregó 80 mg/L de colorante como adsorbato y 0.30 g de arcilla, esta solución estuvo en contacto durante 15 minutos. Para analizar el efecto de la dosis de adsorbente prepararon 6 soluciones a concentraciones 80, 40 y 20 mg/L de colorante al cual se agregó 0.15 g y 0.30 g de arcilla activada, dichas soluciones fueron sometidas a una agitación constante durante 15, 30, 60 y 120 minutos a temperatura ambiente. Los resultados indicaron que el parámetro más importante para la adsorción es el pH debido a que este factor afecta directamente a la carga de la superficie del adsorbente, dicho ello se evidenció que la solución de colorante basic azul marino con pH 12 presenta una remoción de hasta 99% el cual es el más eficiente, mientras que el pH 6 es el segundo con mayor remoción 98% por otro lado, en la solución con drimaren amarillo el porcentaje más alto de remoción fue 47 % a un valor de pH 2. La concentración del adsorbente también presentó influencia en la capacidad de remoción, a mayor concentración mayor porcentaje de

remoción. El tiempo de equilibrio alcanzado fue de 30 minutos y la cinética de adsorción se ajustó mejor al modelo de pseudo orden para ambos colores.

2.2. Antecedentes Nacionales

Lavado et al. (2021), realizaron una investigación sobre la remoción de colorante AM donde utilizaron la biomasa del *Nostoc commune*, asimismo analizaron la cinética, el equilibrio y la termodinámica del proceso, el objetivo fue evaluar la capacidad de biosorción del AM a través del análisis de la concentración del *Nostoc commune*, la variación del pH, temperatura y tiempo de contacto. La concentración empleada del NC fue (0.025- 6g/L) el cual entró en contacto con 500g/L de AM. Luego se ajustó el pH con HCl y NaOH entre valores de (1,0 a 8,0) y a temperaturas de (293,303 y 313) °K todas ellas a una dosis de 1g/L de NC. Posteriormente separaron el AM a través de la filtración. El resultado obtenido muestra que el porcentaje de remoción varió de 66,3% a 99,78% donde, a mayor concentración de NC la remoción se mantiene por otro lado, observaron que a mayor pH y mayor tiempo de contacto la capacidad de remoción de AM es mejor, a mayor temperatura la capacidad de adsorción disminuye, la cinética del proceso de adsorción sigue un modelo de segundo orden y ocurre a través de un proceso denominado quimisorción. Finalmente, concluyeron que el *Nostoc commune* es eficiente y eficaz para la remoción de azul de metileno y la concentración óptima es de 1 g/L.

Choque et al. (2022), en su estudio emplearon el nanocompuesto *Nostoc sphaericum*/nanoarcilla activada con el objetivo de estudiar la remoción de metales, isothermas y cinética de adsorción, su metodología comprendió estudios de caracterización a través de potencial ζ , tamaño de partícula, SEM y FTIR. Para simular el agua contaminado con relave minero prepararon una solución acuosa de 500 mL a pH 5.5 con diferentes metales pesados (Pb, As, Cd, Zn) a 10 ppm de concentración, posteriormente para evaluar los isothermas de adsorción ajustaron el pH de la solución acuosa a 4.5 y concentración de

metales que varía de 10 a 250 ppm, luego agregaron 0.25 g de nanocompuesto, asimismo condicionaron las muestras a diferentes tiempos de contacto para evaluar la velocidad de adsorción, los resultados mostraron que el nanocompuesto formulado HMB-1M removió los metales Pb 99.51 %, As 32.32 %, Cd 14.16 % y Zn 10.31 % mientras el HUT-1M removió Pb 99.52 %, As 33.12%, Cd 16.91 % y Zn 13.07 %, además evidenciaron que la cinética de adsorción se ajustó al modelo de primer y segundo orden siendo rápida la velocidad de adsorción en los 30 primeros minutos, la temperatura óptima fue de 20 °C. Finalmente, concluyeron que el nanocompuesto formulado posee una gran capacidad de adsorción de metales pesados.

Huamán (2022), en su investigación sobre la remoción de metales pesados empleó la arcilla natural, donde determinó el efecto de la concentración, tiempo de contacto y el pH. Simuló una solución acuosa con metales (Pb y Zn) en 100 mL; la primera solución a concentración de (30.06 y 74.98) mg/L respectivamente y la segunda a (74.98 y 75.02) mg/L respectivamente, al cual agregó diferentes concentraciones de adsorbente (0.2 y 1.8) g, de la misma forma condicionó el pH a (2.5 y 4.5), el tiempo empleado para la adsorción tomó valores de (60 y 120) minutos, posteriormente se agregó el adsorbente (0.2 y 1.8) g respectivamente. Los resultados mostraron que el pH, tiempo y concentración de adsorbente si presentan un efecto en la adsorción de los metales (Pb y Zn), en el caso del plomo a una concentración inicial de 30.06 ppm y 74.98 ppm se obtuvo un 95.98% y 95.75% de remoción respectivamente, en el caso del Zn a una concentración de 30.03 ppm y 75.02 ppm el porcentaje de remoción alcanzó los valores de 94.64% y 96.51% respectivamente, finalmente se llegó a la conclusión de que a mayor concentración de adsorbente, tiempo de contacto y un pH óptimo el porcentaje de remoción muestra un mejor resultado.

Amasifuen y Sanchez (2022), analizaron la capacidad de la cáscara de *Punica granatum* para adsorber azul de metileno proveniente de efluentes de industria textil, el

proceso experimental consistió en recolectar 41 kg de cáscara de *Punica granatum* y 60 L de efluente industrial. La cáscara empleada fue llevada a condiciones de lavado, secado y tamizado para posteriormente ser aplicado como adsorbente, también se analizaron las condiciones in situ del efluente que presentaba una temperatura de 25 °C, luego tomaron 2 L de efluente como unidad de análisis para cada tratamiento al cual se condicionó a los pH de 4, 7 y 10, luego se agregó 950 g y 550 g de adsorbente a un tiempo de 35 minutos para cada tratamiento. Los resultados mostraron que se llegó a remover hasta un 65.69 % de AM y que el pH varió hasta tomar valores de 8.96 y 8.10, también evidenciaron que la capacidad mínima de adsorción fue de 2.53 mg/g y el valor máximo fue de 9.43 mg/g, asimismo se evidenció que de una concentración inicial de 13.7 ppm de adsorbato se llegó a tener una concentración final de 4.7 ppm de AM, finalmente llegaron a la conclusión de que la cáscara de *Punica granatum* se puede emplear como un adsorbente para la adsorción de azul de metileno.

Lavado et al. (2020), en su investigación analizaron el comportamiento de biosorción que posee la *Opuntia ficus indica* sobre el colorante azul de metileno. Para obtener el biosorbente se realizó el lavado, secado, molido y tamizado, posteriormente se realizó la caracterización de la biomasa y evaluaron el punto de carga cero, microscopía electrónica de barrido y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier para analizar los grupos funcionales, estandarizar las condiciones y encontrar la variación de pH óptimo. Prepararon una solución de AM en 50 mL de agua a una concentración de 20 mg/L y 300 mg/L, luego agregaron 0.025 g y 0.3 g de biomasa respectivamente, estas soluciones fueron condicionadas a pH (2 y 8) el tiempo de contacto varió entre (5 – 180) minutos. Los resultados mostraron que la biosorción máxima del adsorbato tomó el valor de 156.25 mg/g a un pH de 8 y tiempo de contacto 120 minutos, finalmente llegaron a la conclusión de que la dosis de biomasa si influye en la capacidad de biosorción ya que a una concentración de

0.025 g tuvo un rendimiento de 51 % mientras que al aumentar la concentración a 0.3 g el rendimiento aumentó hasta 98 %, asimismo el tiempo de contacto también es trascendental para alcanzar el punto de equilibrio, de la misma forma la variación de pH mostró que el valor 8 muestra un mejor porcentaje de rendimiento respecto al pH 2, finalmente concluyeron que el biosorbente a partir de *Opuntia ficus indica* si es efectivo para la eliminación del azul de metileno.

Ita y Lopéz (2020), desarrollaron una investigación para determinar la capacidad de adsorción que posee la arcilla modificada sobre el colorante reactivo synozol red-K3BS, en primer lugar realizaron la caracterización de la arcilla evaluando la microscopía electrónica, fisisorción de nitrógeno y el tamaño de partícula, luego se preparó una solución para analizar el porcentaje de remoción a una concentración de 5g/L de arcilla a 25 °C y tiempo de contacto 60 minutos, estas pruebas se realizaron por triplicado, seguidamente prepararon otra solución de 100 mL a una concentración de 100 mg/L de colorante a una temperatura de 25 °C, tiempo de contacto 60 minutos y concentración de 5 g/L de arcilla, dicha solución se realizó para determinar el tiempo de contacto, por otro lado, también la misma solución fue sometida a pH 3 y pH 9 para evaluar la influencia y la capacidad de adsorción de la arcilla. El resultado de su investigación mostró que la arcilla modificada tuvo un porcentaje de remoción de 92.28 %, el pH óptimo es de 3.5, el tiempo de contacto alcanza un equilibrio en el minuto 40 mientras que el tiempo óptimo es de 60 minutos, el estudio de isotermas se ajusta mejor al modelo de Langmuir, finalmente llegaron a concluir que los parámetros que tienen mayor influencia en el porcentaje de remoción y adsorción es el pH y la temperatura.

Capítulo III: Marco Teórico

3.1. Bases Teóricas

3.1.1. Concentración de Copolímero

3.1.1.1. Concentración. Aplicar la concentración o dosis adecuada del adsorbente influye en el mecanismo de adsorción. Este factor permite conocer su capacidad y punto de saturación a una cierta cantidad (Cáceres, 2020). Por lo regular al aumentar la concentración de un adsorbente la adsorción y la remoción presentan un incremento debido a que los espacios activos son mayores, sin embargo, existe un punto de saturación el cual al ser rebasado presenta una aglomeración, causando una disminución en el área efectiva de adsorción (Rojas y Zarate, 2015). En cambio al emplear una menor dosis de adsorbente el porcentaje de remoción disminuye debido a que no existe una buena interacción con el adsorbato además de una distribución incompleta e insuficiente donde rápidamente los sitios activos de adsorción son saturados (Cáceres, 2020). Al emplear la concentración óptima de adsorbente se obtendrá buenos resultados en tiempos óptimos y se economizará el adsorbente.

3.1.1.2. Copolímero. Son considerados como macromoléculas que resultan de la polimerización de distintos monómeros que se unen a través de enlaces químicos, dicha reacción puede formar diferentes estructuras que se distribuyen conforme al proceso y técnica de polimerización, entre las principales se tiene a las cadenas alternas, en bloque, alzar, de injerto y de estrellas (Choque et al., 2022; Redondo, 2018).

- ***Nostoc sphaericum***

El *Nostoc sphaericum* es considerada como un alga, recibe diferentes denominaciones como “murmunta”, “cushuro”, “llullucha”, “crespito”, “jugadores”, “cochayuyo” y “uvas de ríos” se desarrolla en la región andina del Perú y a lo largo de la

Cordillera de los Andes, asimismo, las condiciones ambientales en las que crece de manera silvestre son las lagunas, lagos, ríos, bofedales y manantiales debido a que mantienen humedad (Choque et al., 2022). Crece en colonias de cianobacterias en forma de esferas los cuales forman tricomas y flotan en la superficie de los ecosistemas acuáticos (Chávez, 2014). Estas esferas presentan un color azul verdoso y un verde pardusco, su tamaño es variable desde los 10 a 25 mm de diámetro (Ponce, 2014), puede mantenerse deshidratado hasta el momento en que entre en contacto con agua dulce, asimismo es resiliente a los rayos ultravioleta lo cual permite una óptima fotosíntesis (Řeháková et al., 2007). La presencia de ciertos elementos y compuestos en el medio acuático como el cloruro de calcio, nitrato, sulfato de magnesio y amonio permiten un crecimiento óptimo de esta especie, además la falta de oxígeno no es impedimento para una buena reproducción y desarrollo ya que se encontraron colonias de esta especie sobre los 5000 msnm donde la cantidad de oxígeno es escasa (Corpus et al., 2021).

Una de las características principales del *Nostoc sphaericum* es que posee peptidoglucano en su pared celular el cual lo vincula a las bacterias Gram positivas (Choque et al., 2022), mientras su color está relacionado con la presencia de diferentes pigmentos, el color azul con la Ficocianina, el marrón por la presencia de ficoeritrina y el verde por la clorofila responsable de la fotosíntesis, además presenta una propiedad de viscosidad lo cual permite la adsorción y sedimentación de color en un medio acuoso (Jurado et al., 2014).

La presencia de proteínas, carbohidratos, hierro, lípidos, calcio y otras composiciones en el *Nostoc sphaericum* refleja que también posee beneficios alimenticios y farmacéuticos.

Tabla 1*Clasificación taxonómica del Nostoc sphaericum*

Nombre Científico	<i>Nostoc sp.</i>
Reino	<i>Bacteria</i>
Filum	<i>Cyanobacteria</i>
Orden	<i>Nostocales</i>
Familia	<i>Nostocaceae</i>
Género	<i>Nostoc</i>
Especie	<i>Nostoc sphaericum</i>

Fuente: (Corpus et al., 2021).

- **Arcillas**

Las arcillas son partículas que están compuestas principalmente por dos elementos aluminio y silicio, están presentes en la estructura del suelo, tienen la función de mantener unidos a partículas como materia orgánica y minerales (Ávila et al., 2016). Por otro lado, la composición de la arcilla depende del origen de las rocas, sedimentos o del lugar de extracción lo cual permite que tenga características heterogéneas y requieran de un estudio minucioso (Alvares et al., 2017). El tamaño de estas partículas toma valores menores a 2µm, poseen estructuras cristalinas en capas, por donde el agua pasa o se almacena denominándolos como materiales porosos, precisamente dichas estructuras están conformados por hidroxilos tetraédricos y octaédricos (Najafi et al., 2021).

En los últimos años se ha buscado alternativas eficientes y de bajo costo para la adsorción de contaminantes, gracias al estudio de caracterización de este material se ha demostrado que tienen una capacidad de intercambio catiónico e iónico, lo cual significa que estas poseen cargas negativas o positivas para atraer contaminantes orgánicos e inorgánicos. Asimismo debido a su porosidad y complejidad en su superficie interna y

externa estas pueden actuar sencillamente con soluciones disueltas (Huamán, 2022). Las arcillas poseen estructuras laminares los cuales se encuentran uno sobre otro formando diferentes capas, donde los espacios que existen entre estas se denominan capa intermedia en la cual actúan las fuerzas de Van der Waals, las capas intermedias están formadas por aniones o cargas negativas quienes son neutralizadas al entrar en contacto con cargas positivas (Awasthi et al., 2019). La serie de adsorción consiste en el establecimiento de enlaces directos con átomos de oxígeno, cationes metálicos y OH superficial (Choque et al., 2022). Dicho proceso es sumamente sencillo lo cual no modifica la estructura de la arcilla como mineral (Ita y López, 2020). Sin embargo, en el proceso de deshidratación las capas de la arcilla suelen desestructurarse, lo cual afecta directamente a las capas intermedias, es decir a su porosidad, ocasionando una inaccesibilidad a los procesos químicos, justamente para mejorar los espacios activos e incrementar la capacidad de adsorción se realizan modificaciones en su superficie y estructura a través de procesos de modificación con ácidos, carbono, OH, dando a crear nanocompuestos y polímeros (Najafi et al., 2021). La nanoarcilla posee la capacidad de acoplamiento, funcionalización de su superficie y selectividad de grupos funcionales, de este modo la capacidad de adsorción incrementa (Awasthi et al., 2019).

3.1.2. Potencial de Hidrogeniones

El pH de la solución acuosa influye en la remoción de los contaminantes. Para la adsorción de colorantes establece la solubilidad, la protonación y desprotonación de los sitios activos o de los grupos funcionales de la superficie del biosorbente (Izquierdo, 2010).

El valor idóneo del pH es diferente para cada estudio de adsorción, debido a que las características de la disolución y adsorbente son diferentes (Izquierdo, 2010). En múltiples investigaciones de la remoción del color AM se observó que los mejores resultados se obtienen medios con valores de pH 6 a 8. Para entender el comportamiento del adsorbente

se realiza el estudio de punto de carga cero (PCC), el cual determina el valor del pH donde las cargas netas de la superficie del adsorbente son nulas y los grupos funcionales no contribuyen al pH de la solución (Choque et al., 2022). Si el $\text{pH} < \text{PCC}$ entonces la superficie del adsorbente se cargará de iones positivos el cual será apto para adsorber colorantes aniónicos, mientras si el $\text{pH} > \text{PCC}$ el adsorbente se cargará de iones negativos siendo este favorable para la adsorción de colorantes catiónicos.

3.1.3. Remoción de AM

La remoción es un proceso de eliminación de un componente o contaminantes, generalmente se aplica para el tratamiento de aguas contaminadas. Existen diferentes métodos de remoción del AM como la ósmosis, filtración, precipitación, coagulación, etc. Sin embargo, estos métodos convencionales son de difícil manejo operacional y de costos altos, actualmente se ha puesto interés en la remoción de contaminantes a través del método de adsorción usando adsorbatos de diferente origen, sin embargo también se emplean materiales de naturaleza biológica a este proceso se le denomina como bioadsorción el cual consiste en la atracción del bioadsorbente y un adsorbato a través de leyes físicas o químicas (Rosique, 2013). La bioadsorción busca suplir a los mecanismos tradicionales debido a que los bioadsorbentes son eco amigables, rentables y eficaces.

Al emplearse materia de la biomasa viva o muerta estas entran en proceso de captación de iones de manera pasiva o activa (Tejadar et al., 2015). La superficie del adsorbente que se encuentra en una fase sólida acumula los contaminantes en la interfaz con la solución acuosa. La biomasa empleada generalmente se obtiene de algas, hongos, bacterias y residuos de vegetales (Izquierdo, 2010).

3.1.3.1. Capacidad de remoción. La capacidad de remoción consiste en la interacción que ocurre entre la superficie de la biomasa y el AM dado que están implicados ciertos aspectos como, por ejemplo, la fisisorción o también denominado como mecanismo

físico en el cual actúan las fuerzas de Van der Waals entre las moléculas del adsorbente y adsorbato. Esta interacción se mantiene relativamente débil (Izquierdo, 2010). Otro aspecto interesante de la fisisorción es que presentan bajos calores de adsorción y el proceso puede ser reversible (Ita y Lopéz, 2020), además, el adsorbato mantiene su condición química.

Por otro lado, se tiene la adsorción química el cual consiste de múltiples reacciones de sustitución o desplazamiento (Rosique, 2013). Las fuerzas de atracción entre los iones son relativamente más fuertes manteniendo a las moléculas sobre la superficie de adsorbente (Izquierdo, 2010). Este mecanismo suele ser específico en la interacción de los grupos funcionales del adsorbente y adsorbato, además irreversible, prolongado y no conserva su naturaleza química, para un adecuado funcionamiento se debe considerar la capacidad de concentración máxima del biosorbente.

El mecanismo de remoción de poseen los adsorbentes muestran resultados óptimos lo cual podría facilitar su incorporación en las industrias que no cuentan con suficientes recursos económicos y en las plantas de aguas residuales e industriales donde el tratamiento es deficiente.

3.1.3.2.Descripción de Azul de Metileno. Su nombre químico es cloruro tetrametilitionina su fórmula es $(C_{16}H_{18}ClN_{13}S \cdot xH_2O)$, recibe nombres comunes como azul básico 9 o solvente azul 8 (Martínez, 2013). Su peso molecular es de 319.85 gmol^{-1} , es un colorante básico heterocíclico aromático, presenta punto de fusión a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $110 \text{ }^\circ\text{C}$, es un colorante catiónico, su color depende de los grupos de cromóforos (sistema conjugado de N-S) y auxocromos (grupos que contienen N con pares de electrones solitarios en el anillo del benceno),su absorbancia en estado puro es de 664 nm , es altamente soluble en H_2O , metanol, 2-propanol, etanol, acetona y acetato de etilo, presenta una unidad de amino autocromo y es de clase polimetino (Khan et al., 2022).

Muestra un color de cristales verdes con un brillo bronceado, al ser disuelta en H₂O toma el color de un azul intenso (Melgoza, 2009).

El estudio FTIR realizado por Khan et al. (2022), indica la presencia de los grupos funcionales tales como -NH/-OH, C=N estiramiento de anillo central, C=C estiramiento en el anillo lateral ,vibración de C-N en aminas laterales, estiramiento de N-CH₃, vibración de C-N en la cadena alifática, -COOH, C-H y C-S-C en el pico 665 nm.

Este colorante es usado en múltiples ámbitos, como la industria de cosméticas, textil, alimentaria, papelera, farmacéutica y en la medicina, dentro de la industria textil es considerado como el más común por adherirse con facilidad en las diferentes fibras (Khan et al., 2022). Sin embargo su uso desmedido, irresponsable y la falta de control puede causar efectos negativos en los seres humanos y en el ambiente.

3.1.3.3.Efectos Negativos del Azul de Metileno. El AM es considerado tóxico en altas concentraciones, múltiples investigaciones afirman que puede llegar a ser cancerígeno y no biodegradable. Estas características representan una amenaza para la salud humana ya que al ser intoxicado puede causar dificultad respiratoria, ceguera, trastornos mentales, náuseas, diarreas, vómitos, cianosis, irritaciones en la piel y mucosas, decoloración de orina, irritación de la vejiga etc., por otra parte en el ambiente presentan efectos destructivos, en los ecosistemas acuáticos impide el paso de la luz solar y disminuye la solubilidad del oxígeno por presentar un alto coeficiente de adsorción (Khan et al., 2022).

Muchas veces los efluentes de las industrias se descargan en medios acuáticos sin un previo tratamiento o con un tratamiento deficiente, estas descargas bloquean el paso de la luz en los ecosistemas acuáticos inhibiendo el proceso metabólico y fotosintético de los seres vivos. También se evidenciaron que algunos colorantes son carcinógenos y mutagénicos, su degradación puede crear otros compuestos tóxicos (Cortazar et al., 2012).

3.1.3.4. Cinética de Adsorción. Un factor importante en la adsorción es el tiempo de contacto, el cual se estudia a través del término cinética de adsorción que pronostica y revela el tiempo en que el adsorbente removerá las partículas de múltiples contaminantes.

Doulati et al. (2008), afirman que la cinética es esencial porque calcula la velocidad en que se elimina el colorante, dicho dato permite desarrollar un diseño idóneo para el sistema de tratamiento basado en el proceso de adsorción. El estudio de la cinética también determina la eficacia y eficiencia de la adsorción (Bejarano et al., 2020).

Por otro lado Nieto (2015), afirma que existen tres etapas que controlan la cinética de adsorción, el primero recibe el nombre de transporte externo donde el adsorbato puede entrar y salir a través de las membranas del adsorbente, luego sigue el transporte interno donde las partículas del contaminante se transportan hacia el interior del adsorbente sin salir de ella y por último el proceso de adsorción donde existe un equilibrio local entre la fase sólida (adsorbente) y el medio acuoso. Para explicar la cinética de adsorción se utilizan modelos basados en la matemática.

Modelos Cinéticos. Los modelos cinéticos son ecuaciones que describen el proceso de adsorción fundamentado en la capacidad que poseen los adsorbentes. Para ello se usan datos experimentales. Los modelos más empleados en la investigación son el pseudo primer y segundo orden.

Modelo de Primer Orden. El estudio de los modelos cinético es muy importante justamente porque la adsorción depende del tiempo (Liu et al., 2019).

A continuación, se muestra la ecuación planteada por Lagergren, (1898) para el Modelo de primer orden.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

q_e : capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g).

q_t : capacidad de adsorción en un tiempo (mg/g).

k_1 : Constante de cinética de primer orden.

t : Tiempo de contacto (minutos).

Este modelo es óptimo generalmente para analizar la adsorción durante los 20 a 30 minutos de tiempo de contacto (Choque et al., 2022).

Modelo de Segundo Orden. Cuesta y Nieto (2022), afirman que la ecuación proviene de una reacción química, sin embargo, también es efectiva en procesos fisicoquímicos.

El modelo de segundo orden se constituye de la siguiente forma.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

q_e : Capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g).

q_t : Capacidad de adsorción en un tiempo (mg/g).

k_2 : Constante de cinética de segundo orden.

t : Tiempo de contacto (minutos).

3.1.3.5. Modelamiento y Optimización del Proceso de Adsorción. El modelamiento es un proceso matemático que tiene la finalidad de obtener una ecuación matemática de un fenómeno o problemática el cual permite explicar y obtener una solución (Ruiz, 2022), mediante la ecuación dada por el modelo se puede emplear diferentes metodologías para optimizar, la más conocida es la metodología de superficie de respuesta (MSR).

Según Contreras (2006), los programas de simulación tienen diferentes usos, si se aplica correctamente la información resultante será orientativa y certera. Esta herramienta fundamentalmente resuelve ecuaciones expresados en un modelo.

Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). La MSR fue introducida por Box y Wilson (1951), actualmente existen diversos medios estadísticos que permiten aplicar la metodología exitosamente en los diversos procesos (Ruiz, 2022).

El modelado mediante la MSR es un enfoque estadístico empírico que se basa en datos cuantitativos de origen experimental, permite relacionar la interacción de las variables independientes en función a la respuesta para obtener los mejores valores de entrada y la máxima respuesta (Nayak y Pal, 2017). Como resultado se obtiene ecuaciones y un gráfico que facilita su interpretación el cual presenta dos dimensiones, el eje X comprende a las variables independientes mientras el eje Y está comprende la variable de respuesta, la interacción de las variables está representadas mediante un gráfico de curvas que presentan diferentes colores y valores que permite facilitar su interpretación.

Esta metodología está representada mediante diferentes ecuaciones que se pueden adecuar a los procesos (Figueroa, 2003).

Modelo Lineal

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon \dots \dots \dots (3)$$

Modelo lineal con interacción

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \dots \dots \dots (4)$$

Modelo cuadrático con interacción

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

y : representa la variable respuesta.

x_i, x_j : representan las variables independientes.

β_0 : coeficiente constante

β_i : Coeficientes lineales.

β_{ij} : Interacción de coeficientes.

β_{ii} : Coeficiente cuadrático.

ε : error de la respuesta.

3.2. Marco conceptual

Absorbancia

Es una medida de la radiación que absorbe una sustancia cuando sobre esta incide las ondas electromagnéticas, dependen de la longitud de onda al que se ajusta la muestra, para la medida se usa un espectrofotómetro en el cual se indica la longitud de onda por el cual incide en la solución medida (Vidal y Vargas, 2014).

Adsorbato

Es una sustancia o un contaminante que se acumula sobre la interfase del adsorbente a través de diferentes mecanismos de adsorción (Ita y Lopéz, 2020). El mecanismo mediante el cual se acumula define si estas partículas se encuentran estables o se desplazan en la interfase.

Adsorbente

Son materiales de origen natural o sintético que tienen la capacidad de acumular sustancias sobre su interfase, mayormente son materiales sólidos, presentan una estructura amorfa y porosa.

Adsorción

Es un proceso de naturaleza física o química en el cual interactúa un adsorbente y el adsorbato este proceso se lleva a cabo en soluciones líquidas y gaseosas, este método se aplica para la remoción de contaminantes.

Arcilla

Son minerales constituidos por aluminosilicatos hidratados que están estructurados en capas, forman parte de la fracción coloidal de los suelos (Ita y Lopéz, 2020). Presentan una estructura porosa por el cual se desplazan los líquidos y los gases.

Azul de Metileno

Es un colorante de carácter catiónico, básico heterocíclico aromático y soluble en el agua, la longitud de onda a la cual incide la luz sobre esta sustancia es 664 nm (Khan et al., 2022).

Cinética

Es la tasa de adsorción entre el adsorbato y adsorbente, asimismo describe el tiempo de equilibrio en el que se logra el proceso (Choque et al., 2023).

Concentración

Cantidad de un compuesto o elemento que se disuelve en un volumen disolvente, dicha concentración indica la proporción del solvente y el soluto.

FTIR

Espectroscopía infrarrojo por transformada de Fourier es un método que permite evaluar la composición química de biosorbentes para identificar los grupos funcionales que participan en la retención de adsorbatos (Cozzolino, 2002; Ruiz, 2018).

Metodología de Superficie de Respuesta

Permite el estudio de la relación entre las variables independientes y la variable de respuesta (Figuroa, 2003). Herramienta de diseño experimental basado en la regresión múltiple para evaluar la incidencia de múltiples factores sobre una respuesta (Mona et al., 2011).

Nanoarcilla activada

Es un material con origen de arcillas naturales, el cual pasó por un proceso de activación con ácido, están formadas principalmente por enlaces de silicio y oxígeno (Awasthi et al., 2019). La morfología de este material es poroso debido a la modificación de su estructura, además el tamaño de estas son de categoría nanométrica (Arriola y Rojas, 2017).

Nostoc sphaericum

Es una colonia de cianobacterias, presenta un color azul verdoso y se desarrolla en aguas dulces de zonas altoandinas (Corpus et al., 2021).

Optimización

Es una técnica que permite mejorar los resultados de un proceso mediante el empleo de metodologías. Se emplea el MSR previamente analizado a través de la combinación de sus factores (Mona et al., 2011).

Potencial de Hidrogeniones

Medida que permite determinar el grado de acidez o alcalinidad de la solución acuosa. La concentración de hidrogeniones tiene un rol importante sobre los sitios de unión de la superficie del adsorbente (Lavado et al., 2021).

Potencial ζ (Zeta)

Parámetro que estudia la doble capa eléctrica (superficie cargada y excedente neutralizado) de una partícula, es característico de las interfases sólido/líquido y líquido/gaseoso (Salopek et al., 1992). Presenta un cuadro de evaluación de la estabilidad de la partícula.

Punto de Carga Cero

Es una característica que determina el pH al cual la superficie del adsorbente presenta una neutralidad eléctrica neta (Albis et al., 2018).

SEM

Es una técnica de caracterización, a través de una imagen facilita información sobre la morfología de la superficie del adsorbente y adsorbato el cual permite determinar la forma y su distribución (Rodríguez, 2014 y Morales, 2018).

Solución acuosa

Es una mezcla líquida homogénea donde uno o más solutos son disueltos, el disolvente generalmente es el agua. Las características más importantes que la solución posee es el pH, la concentración y temperatura (Vidal y Vargas, 2014).

Tamaño de Partícula

Estudia el diámetro y los poros de una partícula, la densidad de adsorción sobre ella aumenta cuando el tamaño disminuye ya que esto hace que aumente el área de superficie disponible (Ruiz, 2018).

Capítulo IV: Metodología de la Investigación

4.1. Tipo

La investigación es del tipo experimental con enfoque cuantitativo y alcance explicativo, debido a que se manipula intencionalmente las variables independientes (pH y concentración del copolímero) con la finalidad de explicar los resultados de la manipulación sobre la variable dependiente, asimismo la naturaleza de la investigación corresponde a ser aplicada justamente porque permite lograr un nuevo conocimiento y con ello resolver el problema.

4.2. Diseño de Investigación

Al ser la investigación experimental y aplicada se propuso el diseño factorial de 3^2 , ya que se evaluó más de dos variables independientes, se realizaron 9 tratamientos con diferentes valores de pH y diferentes concentraciones de copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla, a continuación se presenta la descripción y manipulación de las variables de entrada y salida, el diseño que se empleó está basada en el planteamiento hecho por (Hernández y Mendoza, 2018).

Tabla 2

Diseño de investigación factorial 3^2

Grupo sujeto	Estímulos	Medición del resultado
G ₁	T ₁₁	M ₁
G ₂	T ₁₂	M ₂
G ₃	T ₁₃	M ₃
G ₄	T ₂₁	M ₄
G ₅	T ₂₂	M ₅
G ₆	T ₂₃	M ₆
G ₇	T ₃₁	M ₇
G ₈	T ₃₂	M ₈
G ₉	T ₃₃	M ₉

G: Grupo sujeto (solución acuosa con Azul de Metileno)

T: Estímulos (concentración de copolímero y variación de pH)

M: Medición del resultado (porcentaje de remoción)

4.3.Operacionalización de Variable

Variable	Definición Conceptual	Definiciones operacionales	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Independiente					
Concentración de copolímero	Son macromoléculas producto de la reacción de polimerización en conjunto de dos o más monómeros (Redondo, 2018).	Concentración de Copolímeros (soluto) en un medio acuoso.	Concentración	Tratamiento 1: 20 ppm Tratamiento 2: 30 ppm Tratamiento 3: 50 ppm	Razón
Potencial de Hidrogeniones	Es la concentración de hidrogeniones, el cual indica si el estado de un medio es ácido o alcalino (Mansilla, 2013).	Grado de acidez del medio acuoso.	pH	Tratamiento 1: pH 5 Tratamiento 2: pH 6 Tratamiento 3: pH 8	Escala de intervalo
Dependiente					
Remoción de Azul de Metileno	Es la respuesta de la interacción entre el AM y el copolímero (Chatterjee et al., 2012).	Relación de la cantidad degradada y la concentración inicial del azul de metileno (Toribio, 2021).	Capacidad de Remoción	% de remoción	Razón

Nota. Elaboración Propia

4.4. Material de Estudio

4.4.1. Población

La población fue 15 gramos de copolímero formulado a partir de NC y NA el cual comprende el total de uso en el proceso de caracterización y experimental.

4.4.2. Muestra

Se utilizó 5 gramos de copolímero NC/NA para tratar la solución acuosa(agua + azul de metileno) debido a que los experimentos demandaron de 0.02, 0.03 y 0.05 gramos de copolimero por cada tratamiento y cada una de ellas tuvo una réplica de 3 veces.

4.4.3. Muestreo

Muestreo no probabilístico.

4.5. Materiales, Equipos y Reactivos

Los materiales, equipos y reactivos que se emplearon durante la investigación se detallan en las siguientes tablas.

Tabla 3*Materiales*

N°	Material	Cantidad
1	Vaso precipitado 1000 mL	08 unidades
2	Vaso precipitado de 500 mL	04 unidades
3	Vaso precipitado 250 mL	36 unidades
4	Vaso precipitado 50 mL	12 unidades
5	Micro pipetas automatizadas de 100 a 1000 μ l	01 unidad
6	Probeta de 500 mL	08 unidades
7	Probeta de 50 mL	04 unidades
8	Fiolas 50 mL	06 unidades
9	Fiolas 100 mL	02 unidades
10	Fiolas 500 mL	04 unidades
11	Matraz Erlenmeyer 250 mL	06 unidades
12	Matraz de Kitasato 250 mL	02 unidades
13	Tubos de ensayo	33 unidades
14	Lunas de reloj	27 unidades
15	Varilla de vidrio	15 unidades
16	Espátula de laboratorio	10 unidades
17	Pizetas	03 unidades
18	Papel filtro	01 pliego
19	Jeringas de 5 mL	01 caja
20	Papel toalla de laboratorio	02 unidades
21	Papel tisú	01 caja
22	Guantes de nitrilo	01 caja
23	ParaFilm	01 rollo
24	Jabón líquido	02 unidades

Nota: Elaboración propia.

Tabla 4*Equipos*

N°	Nombre	Cantidad	Marca
1	Balanza analítica	1 unidad	PIONER (OHAUS)
2	Refrigeradora	1 unidad	LG
3	Agitadores magnéticos	7 unidad	CAT (M6)
4	FTIR	1 unidad	Thermo Fisher, modelo Nicolet IS50
5	Potenciómetro de mesa	1 unidad	HANNA, modelo HI5521
6	Fotómetro	1 unidad	IRIS- HANNA
7	Estufa de secado	1 unidad	BINDER
8	Espectrofotómetro UV-vis	1 unidad	HANNA, modelo Iris HI801
9	Desecador	1 unidad	Sartorius, modelo MA35
10	Bomba de vacío	1 unidad	BIOBASE, modelo GM-0.20
11	Vortex	1 unidad	ISOLAB
12	Destilador de agua	1 unidad	RELES
13	Ultrasonificador	1 unidad	QSonica, modelo Q700
14	Analizador de potencial ζ	1 unidad	Nicomp, modelo Z3000
15	Zetasizer Ultra	1 unidad	MALVERN
16	Incubadora	1 unidad	Binder, modelo CB 56

Nota: Elaboración propia, por medio de la información proporcionada por LIMTA y LICA.

Tabla 5*Reactivos*

N°	Material	Cantidad
1	Azul de metileno	100 mL
2	Cloruro Férrico	1 frasco
3	Sulfato de magnesio	1 frasco
4	Bromuro de Potasio	1 frasco
5	Hidróxido de Sodio	1 frasco
6	Cloruro de Sodio	1 frasco
7	Ácido Fosfórico	1 frasco
8	Ácido Clorhídrico	1 frasco
9	Etanol de 96 °	2 litros
10	Agua destilada	15 litros
11	Agua Estéril	6 litros

Nota: Elaboración propia.

4.6. Técnicas de Investigación e Instrumentos

4.6.1. Técnicas de Recolección de Datos

La técnica de recolección de datos que se empleó fue la observación experimental el cual permitió recolectar los datos condicionados y manipulados.

4.6.2. Instrumentos de Recolección de Datos

Se empleó una ficha de recolección de datos donde se estableció los 3 valores de pH y concentración a usar, la ficha permitió tomar datos de la absorbancia del color y el porcentaje de remoción. El instrumento que se usó para el proyecto se observa en el Anexo 04 y la validación de la misma en el Anexo 05.

4.6.3. Procedimientos

A. Preparación de la Solución

- **Preparación de Soluciones de Colorante Azul de Metileno**

Se preparó una solución acuosa a 10 ppm de AM en 1000 mL de agua destilada, esta solución fue homogenizada manualmente.

- **Preparación del Copolímero *Nostoc sphaericum* y Nanoarcilla**

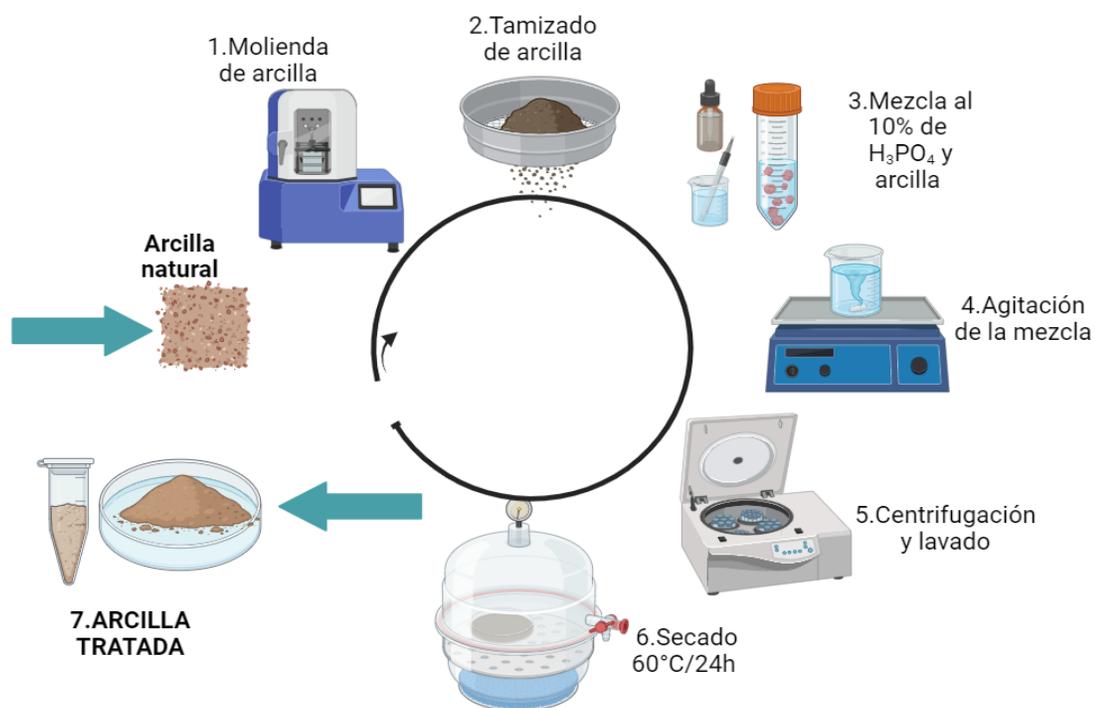
La NA y el NC fueron proporcionados por el Laboratorio de investigación de materiales avanzados para el tratamiento de aguas y alimenros (LIMTA), la obtención de los adsorbentes consistió en el siguiente metodología planteada por (Choque et al., 2022), quien formuló un nuevo copolímero usando NC proveniente de la laguna de Puccacocha de la provincia de Andahuaylas y de la laguna Qompi de la región Cusco, mientras que las arcillas fueron recogidas del distrito de Huanta, Ayacucho y del distrito José María Arguedas, Apurímac, dicho compuesto fue empleado como adsorbente para remover metales pesados, este antecedente fue precedente para emplear el NC/NA en la remoción de AM.

Nanoarcilla

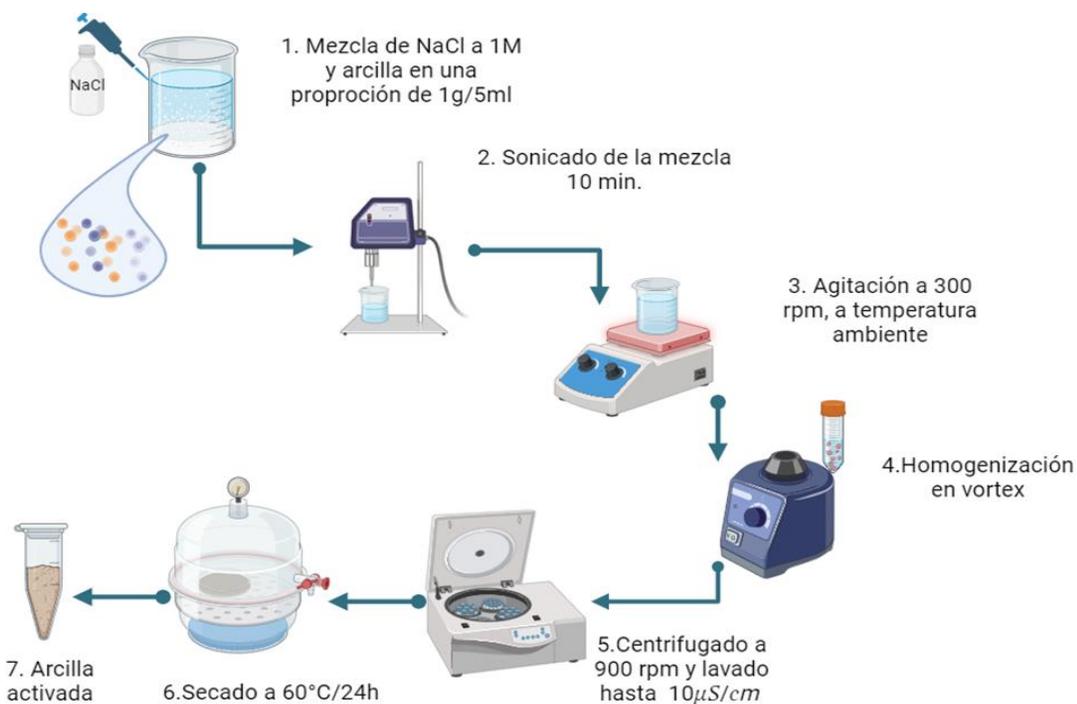
Se molió y tamizó la arcilla natural, luego se agregó H_3PO_4 al 10 % para eliminar la materia orgánica, posteriormente se centrifugó y lavó con agua ultrapura hasta obtener pH 7, luego se agregó NaCl a 1.0 M para activar la arcilla. Una vez activada se procedió a mezclar, sonicar, agitar y homogenizar la muestra, luego se lavó a través de la centrifugación para secarlo durante 24 horas a 60° C.

Figura 1

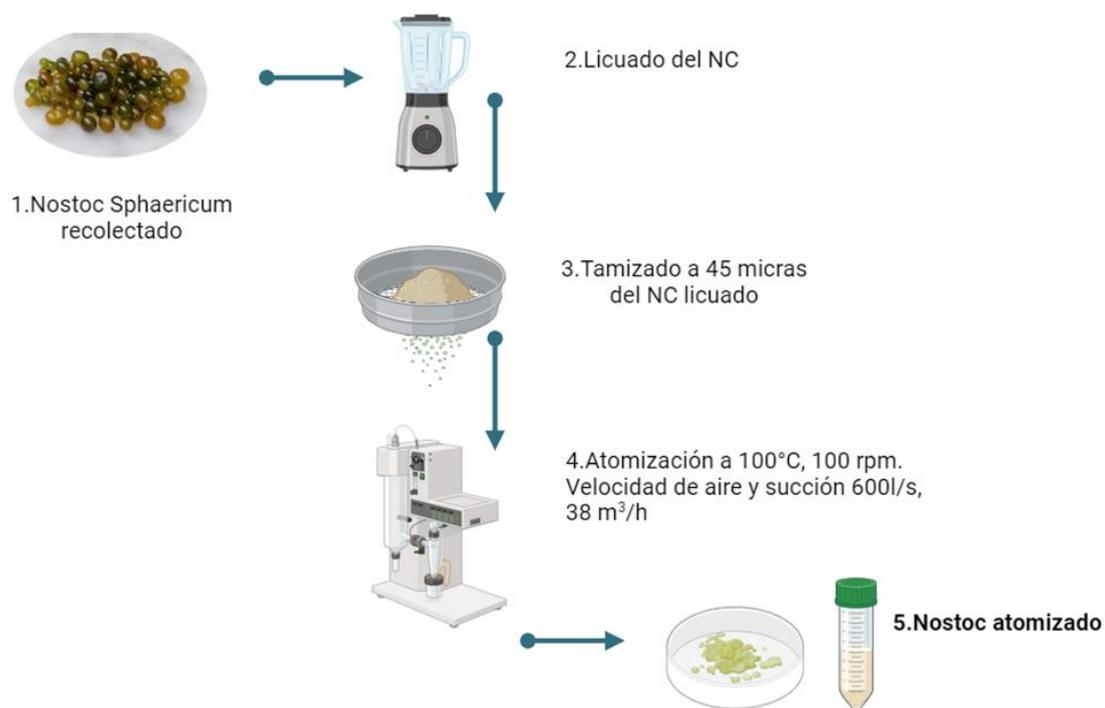
Proceso del tratamiento de la arcilla natural



Nota: Elaboración propia.

Figura 2*Proceso de la activación de la NA**Nota:* Elaboración propia.***Nostoc sphaericum***

La muestra se licuó con agua destilada en una relación de 1/1, luego se tamizó y el zumo se llevó a atomización en agitación continua de 100 rpm a $100^{\circ}C$, 600 L/s de velocidad de aire y $38\text{ m}^3/h$ de velocidad de succión, finalmente se almacenó la muestra.

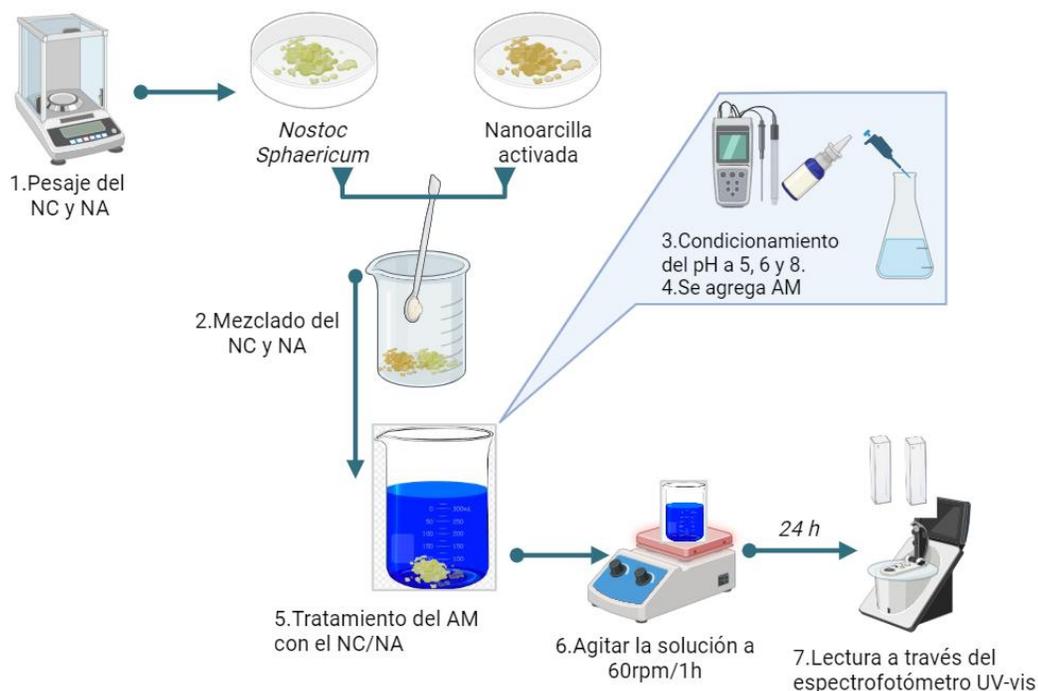
Figura 3*Proceso de la atomización del NC*

Nota: Elaboración propia.

El NC se mezcló manualmente con la NA en una relación de $\frac{1}{4}$ respectivamente, esta mezcla fue realizada en seco y a presión.

Figura 4

Proceso de la obtención del NC/NA y el tratamiento de AM



Nota: Elaboración propia.

- **Condicionamiento del Experimento de Adsorción**

Se ajustó el pH y la concentración del NC/NA de la siguiente manera.

Se preparó tres muestras de solución de 1000 mL de agua destilada las cuales se ajustaron a pH 5, 6 y 8 usando NaOH y HCl, luego se condicionó la solución para obtener una concentración de 10 ppm de AM.

La solución a pH 5 se distribuyó en 3 tratamientos de 100 mL por triplicado a concentraciones de 20, 30 y 50 ppm de NC/NA.

La solución a pH 6 se distribuyó en 3 tratamientos de 100 mL por triplicado a concentraciones de 20, 30 y 50 ppm de NC/NA.

La solución a pH 8 se distribuyó en 3 tratamientos de 100 mL por triplicado a concentraciones de 20, 30 y 50 ppm de NC/NA.

Cada tratamiento fue llevada a un agitador magnético a 60 rpm durante 60 minutos, luego se dejó reposar a temperatura ambiente durante 24 horas.

B. Caracterización del NC/NA

- **Curva de Calibración de Absorbancia y Longitud de Onda**

Para analizar la curva de calibración se preparó una solución patrón a partir de 2310 ppm de concentración inicial del colorante, el cual se diluyó en 100 mL de agua destilada para obtener concentraciones de 0, 2, 6, 10 y 15 ppm de concentración, dichas soluciones fueron llevadas al Espectrofotómetro UV/VIS a una longitud de onda de 664 nm porque a dicha longitud se lleva una absorción máxima del color azul de metileno (Chaparro et al., 2014).

- **Punto de Carga Cero (PCC)**

Para estudiar el PCC se preparó soluciones de agua destilada con un volumen de 50 ml en vasos precipitados a diferentes valores de pH (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 12) dichas soluciones fueron ajustadas con 0.1M NaOH y 0.1M HCl (Choque et al., 2023). Posteriormente se agregó 0.05 g/L de copolímero NC/NA en una relación de ¼ a cada una de las soluciones, luego se procedió a agitar a 60 RPM durante 24 horas a una temperatura ambiente, finalmente se tomó los valores del pH final.

- **Potencial ζ y Tamaño de Partícula**

Se preparó 10 muestras de solución a diferentes valores de pH (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 12) a cada solución se le agregó 0.05 g/L de copolímero NC/NA en una relación de $\frac{1}{4}$, seguidamente se procedió a agitar durante 24 horas a 60 RPM a temperatura ambiente, luego se llevó al sonicador durante 5 minutos a temperatura ambiente, inmediatamente se tomó una alícuota en una celda de poliestireno para determinar el tamaño de la partícula a través de dispersión dinámica de luz, de manera similar también se tomó una alícuota de la misma solución en una celda capilar para determinar el potencial zeta del copolímero (Choque et al., 2023).

- **Análisis FTIR**

Para analizar los grupos funcionales del proceso de adsorción se prepararon comprimidos del NC, NA, copolímero y el tratamiento de azul de metileno, se aplicó 0,1 % de KBr, luego se llevó al módulo de transmisión del espectrómetro FTIR (espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier) con una longitud de onda de $4000-400\text{ cm}^{-1}$ (Choque et al., 2023).

- **Análisis SEM**

Se preparó una muestra de la adsorción de AM y el copolímero con los valores óptimos de remoción, la precipitación generada se llevó a secado en la Mufla con la finalidad de evaporar el contenido de agua. Luego se tomó la muestra seca, muestra de NA, muestra de NC y una de NC/NA para ser procesada por un equipo de Microscopio Electrónico Prisma E.

- **Capacidad Máxima del Adsorbente y Porcentaje de Remoción**

La cantidad de azul de metileno adsorbida (q_e) y el porcentaje de remoción % R fueron calculados a través de la Ecuación 6 y 7 (Nayak y Pal, 2017).

Capacidad de adsorción en equilibrio

$$q_e = \frac{(C_o - C_t) \times V}{M} \dots \dots \dots (6)$$

Porcentaje de remoción

$$\%R = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

C_o : Concentración inicial del azul de metileno.

C_e : concentración final del azul de metileno.

M : Masa de NC/NA.

C_t : Tiempo de concentración.

q_e : cantidad de colorante absorbido en (mg/g).

V : Volumen de la solución (L).

C. Modelamiento y Optimización del Proceso de Adsorción

El modelamiento se realizó mediante un análisis de datos a través del utilitario Solver de Excel, que permitió obtener una ecuación que permitió optimizar el proceso a través de la MSR.

- **Metodología de Superficie de Respuesta (MSR)**

Se empleó la MSR, teniendo como criterio de convergencia el porcentaje de remoción y las variables de ajuste (pH y cantidad de copolímero).

D. Cinética de Adsorción

Para evaluar la cinética de adsorción se eligió los datos de las variables que presentan mejor porcentaje de remoción luego es ser optimizadas.

Se prepararon 9 muestras de solución con azul de metileno a un pH de 6.8, concentración de AM 10 ppm y concentración de adsorbente 0.0392 g/L de NC/NA en una relación de ¼, posteriormente las muestras fueron puestas en el agitador magnético en diferentes tiempos: 0, 20, 40, 60, 100, 150, 200, 300 y 400 minutos y temperatura ambiente. Realizado dicho procedimiento se dispuso a filtrar la solución en la bomba de vacío con filtros de poro rápido, luego se tomó la muestra del sobrenadante para determinar la concentración final de AM a través del espectrofotómetro UV-vis.

4.6.4. Validación del Instrumento

La validación del instrumento para la recolección de datos se realizó de acuerdo a los indicadores, concentración de copolímero, pH y porcentaje de remoción el cual fue analizado y validado por un experto en el área.

4.6.5. Procesamiento y Análisis de Datos

ANOVA de dos factores

Los datos se analizaron mediante el Análisis de Varianza de dos factores para evaluar las diferencias significativas entre los tratamientos a un nivel de significancia del 5 %.

Se usó programas estadísticos como Statistica y Minitab.

Capítulo V: Resultados y Discusiones

5.1. Curva de Calibración de Absorbancia y Longitud de Onda

La Tabla 6, muestra los datos de concentración de las soluciones preparadas y el resultado de la absorbancia para la construcción de la curva de calibración.

Tabla 6

Concentración y absorbancia del AM

Concentración de AM (ppm)	Absorbancia
0	0.000
2	0.393
6	1.194
10	1.910
15	2.817

Nota: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos se realizó la gráfica lineal correspondiente a la absorbancia y concentración con un valor de $R^2 = 0.9994$ que se muestra en la Figura 1, Montero (2016), Ita y López (2020) y Nayak y Pal (2017), afirman que los valores de R^2 mayores a 0.7 son adecuados para un ajuste. La ecuación de ajustada fue.

$$A = 0.1877 [AM] + 0.0238 \dots \dots \dots (8)$$

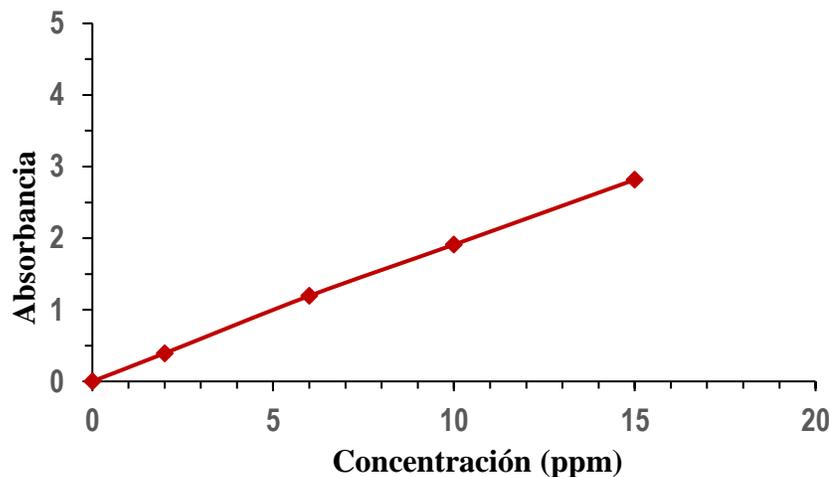
Donde:

A: es la absorbancia

[AM]: es la concentración de azul de metileno.

Figura 5

Curva de calibración del color azul de metileno

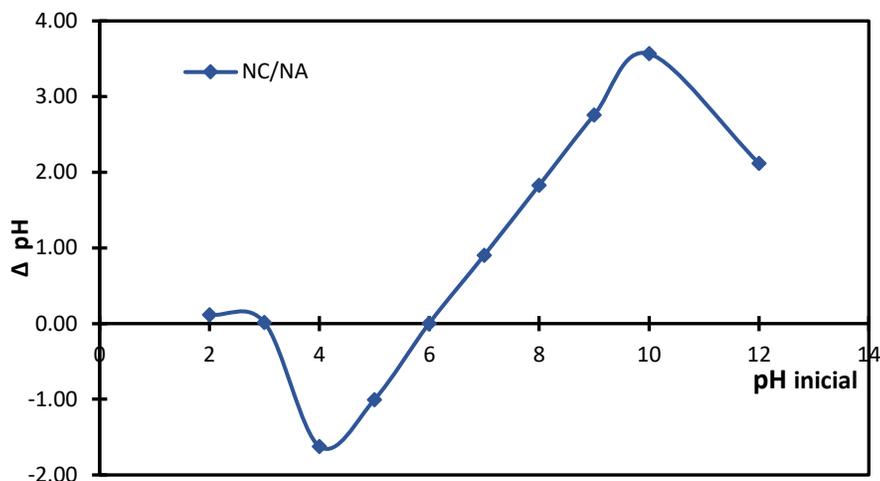


Nota: Elaboración propia.

Las lecturas de la absorbancia se realizaron a 664 nm, a esta longitud de onda se manifiesta un espectro o pico de alta intensidad, el cual está asociado con un monómero de AM, sucediendo vibraciones electromagnéticas del grupo C-S-C (Khan et al., 2022). Del mismo modo Amasifuen y Sanchez (2022) , emplearon 880 nm de longitud de onda para la curva de calibración puesto que en dicho pico vibra el grupo C-H, aunque presenta menor intensidad.

5.2.Punto de Carga Cero (PCC)

En la Figura 6, se muestra los resultados del estudio de PCC del copolímero NC/NA, se observó que a pH 3.0 las cargas netas de la superficie del adsorbente son igual o nulas, sin embargo, a medida que el pH es mayor las cargas positivas incrementan hasta el pH 6.0 donde nuevamente las cargas netas son nulas. Este resultado indica que el adsorbente presenta dos puntos de carga cero.

Figura 6*Punto de carga cero*

Nota: Elaboración propia.

Lavado et al. (2021), al realizar el PPC del *Nostoc commune* reporta un valor de 1.5. Por otra parte (Gamoudi y Srasra, 2017), reporta valores de 6.39 y 6.58 para arcillas, estos valores son semejantes a los obtenidos para el NC/NA. El estudio de dos compuestos distintos explica la existencia de dos valores de PCC.

Tomando referencia el pH 6.0 se afirma que al incrementar su valor también se intensificará las zonas con cargas negativas por lo tanto, se considera como un adsorbente catiónico (presencia de aniones) esto quiere decir que la capacidad de adsorción para el color AM será mayor, debido a que es un colorante orgánico monovalente que presenta cargas positivas en su superficie (Gürses et al. 2006), mientras que si disminuye el valor de pH entonces será favorable la adsorción de colorantes con superficie de cargas negativas.

5.3. Potencial ζ (Zeta)

En la Tabla 7, se aprecia los valores del Potencial ζ que oscilan entre 0.83 mV a -39.34 mV para el rango de pH de 2 a 12.

Tabla 7*Potencial ζ del NC/NA*

pH	\bar{x}	\pm	S	C.V (%)
2	0.83	\pm	0.19	23.45
3	-16.32	\pm	0.18	-1.13
4	-28.83	\pm	0.27	-0.94
5	-28.21	\pm	1.04	-3.67
6	-20.71	\pm	0.51	-2.44
7	-24.48	\pm	0.72	-2.93
8	-18.25	\pm	1.26	-6.88
9	-16.32	\pm	1.15	-7.04
10	-19.48	\pm	0.51	-2.59
12	-39.34	\pm	1.61	-4.10

Nota: Elaboración propia. *Donde:* \bar{x} , es el promedio aritmético; *S*, es la desviación estándar; *C.V*, es el coeficiente de variabilidad.

El reporte indica que a partir del valor máximo se presenta disminución de los valores hasta alcanzar un valor de -28.83 mV a pH 4, este valor se mantiene ligeramente constante hasta $\text{pH} \leq 5$, en el rango del pH 5 a 10 los valores oscilan entre -16.32 a -24.48 mV. Sin embargo, dichos valores disminuyen significativamente a partir del $\text{pH} \geq 10$ hasta alcanzar el punto más bajo a pH 12 con un valor de -39.34 mV representando una estabilidad media, similares comportamientos fue observado por Hussain et al. (1996) quienes reportaron valores con una tendencia de -24.0 a -49.5 mV, 0 a -42.0 mV y de 0 a -36.5 mV para arcillas. Asimismo, (Fijałkowska et al., 2021), reportaron valores semejantes que oscilan de -11.1 mV a -29.3 mV también para arcillas, mientras Almomani y Bohsale (2021), reportaron valores menores a -28 mV para algas.

Por otra parte, el copolímero al encontrarse disuelta en un pH 2 muestra una máxima aglomeración y precipitación donde las fuerzas de repulsión y atracción son cambiantes, por lo cual en este punto existe una inestabilidad de la suspensión, este enunciado concuerda con lo planteado por (Salopek et al., 1992), quienes expresan que los valores de 0 a -15 mV tienen una

fuerte aglomeración, los valores de < -30 mV se encuentran presentan una dispersión ligera y los valores de -31 mV a -41 mV tienen mediana estabilidad. La adsorción es eficiente cuando las partículas

Fijałkowska et al.(2021) y Choque et al. (2022), señalan que la variación de los valores para la nanoarcilla está relacionada con el tamaño de partícula, naturaleza química, grado de hidratación, densidad de carga y la topografía. Mientras la estabilidad del *Nostoc sphaericum* se debe a la presencia de grupos de carboxilo, carbonilo y oxidrilo en su estructura según lo afirma (Choque et al., 2022).

5.4.Tamaño de Partícula

La Tabla 8, reporta el tamaño de partícula del NC/NA evaluado en un intervalo de pH 2-12, se observa que presenta dos picos. El pico 1 registró a pH 2 un tamaño mayor de 1057.33 nm, además se observa que disminuye en el rango de pH 3 a 12.

Por otra parte, se evidenció que a pH 4, 7, 9 y 12 las partículas mostraron una distribución de dos picos. Es así que NC/NA evidenció el menor tamaño a pH 12 con un tamaño medio de 532.17 nm y el mayor se presentó a pH 4 con un tamaño medio de 5468 nm.

En tanto, Choque et al. (2022), afirman que la presencia de algunas partículas con diámetros mayores se debe al proceso de atomización del NC en el cual se dan interacciones electrostáticas y químicas dando a formar partículas aglutinadas.

Asimismo, Rosas et al. (2014), mencionan que las arcillas al ser activadas tienden a disminuir su diámetro ya que durante su tratamiento se eliminan los carbonatos, óxidos, cationes metálicos presentes en su estructura generando poros o espacios donde se lleva el proceso de adsorción. Por otro lado, la disolución del copolímero en el agua presenta una dificultad de

disolución, esto se debe a que existen partículas de proteínas, grasas y carbohidratos provenientes del *Nostoc sphaericum* (Choque et al., 2023).

Tabla 8

Tamaño de partícula de NC/NA

pH	Pico 1 (nm)			Pico 2 (nm)		
	\bar{x}	S	C.V (%)	\bar{x}	S	C.V (%)
2	1057.33	38.85	3.67	.....	.....	.....
3	889.93	88.06	9.89	.....	.....	.....
4	651.83	19.67	3.02	5468	8	0.146
5	677.47	82.81	12.22	.....	.....	.....
6	674.37	25.27	3.75	.....	.....	.....
7	627.90	77.36	12.32	5333	49.50	0.93
8	645.70	68.93	10.68	.....	.....	.....
9	663.63	48.84	7.36	5334	9	0.169
10	686.37	39.69	5.78	.....	.....	.....
12	532.17	95.52	17.95	2716.8	3632.0	133.69

Nota: Elaboración propia. Donde: \bar{x} , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad.

Arriola y Rojas, (2017) al modificar las arcillas reportaron que el tamaño de las partículas se encuentran en la escala nanométrica, es decir a menores a 10^{-9} m, asimismo (Majdzadeh et al., 2014) evidencian la existencia de partículas modificadas con diámetros mayores a 200 nm, mientras el tamaño que mayormente registró fue de 160 nm, por otro lado (Mota, 2019), al tratar *Phanerochaete chrysosporium* obtuvo partículas de 500 micras y 1 mm, es decir partículas con diámetros superiores a las nanopartículas. Mientras (Choque et al., 2022) evidenciaron para NC y NA valores de diámetro que oscilan de 43.4 a 839.5 nm. Dichas modificaciones morfológicas responden a la activación con ácido (Awasthi et al., 2019). Esto permite que el material aperture mayor área superficial de adsorción, mayor interacción entre las partículas y menor posibilidad de sedimentación permitiendo una mejor remoción.

5.5. Análisis FTIR de los Compuestos y Adsorción

En la Figura 7, se reporta el espectro IR de los compuestos NC, NA, NC/NA y el copolímero sometido a adsorción de AM, el cual se realizó para analizar los grupos funcionales.

Los picos que muestra el espectro del NC indican que el pico 3381.19 cm^{-1} presenta vibraciones de enlaces -OH y -NH- con formación de puentes de hidrógeno, los posibles grupos que se identifican son el alcohol primario (etanol y azúcares) (Herrera, 2012), también se identifican grupos de amidas y ácidos carboxílicos (Choque et al., 2022), la banda 2929.20 cm^{-1} corresponde a vibraciones de estiramiento asimétrico débil de CH, CH₂ y CH₃, en el cual se encuentran lípidos, carbohidratos, azúcares y radicales de proteínas (Dos Santos et al., 2016). La banda 1648 cm^{-1} corresponde a la flexión de agua adsorbida y a la vibración de COO- de estiramiento asimétrico de lípidos y carbohidratos, el pico 1419 cm^{-1} corresponde a enlaces de C-O, C-H y -OH de carbohidratos, lípidos y proteínas (Choque et al., 2022). El rango de banda de ($1400\text{ a }1600\text{ cm}^{-1}$) se caracteriza principalmente por las absorciones de anillos aromáticos de lignina de algas (Jiménez et al., 2016), la banda 1064.09 cm^{-1} corresponde al estiramiento de enlaces C-O, C-O-C y C-OH los grupos pertenecientes a esta banda son indicadores de la presencia de mucilago y gomas provenientes de las algas, finalmente se tiene la banda 584.93 cm^{-1} el cual indica la absorción de pigmentos de vegetales (clorofila) (Cozzolino, 2002; Choque et al., 2022).

Por otra parte la NA muestra que la banda 3622.68 cm^{-1} representa al estiramiento OH de grupos de hidroxilo interno (Al-OH) en la capa octaédrica, también presentan variaciones por las sustituciones isomórficas siendo característica de un material kaolinita (Choque et al., 2022; Tuesta et al., 2005), la banda 3443.41 cm^{-1} corresponde a las vibraciones de enlaces OH de las moléculas de agua, el pico 1634.58 cm^{-1} corresponde a la vibración de los grupos de OH del agua absorbida y presenta segmentos de carbonilos, la banda 1023.01 cm^{-1} responde a un estiramiento de Si-O

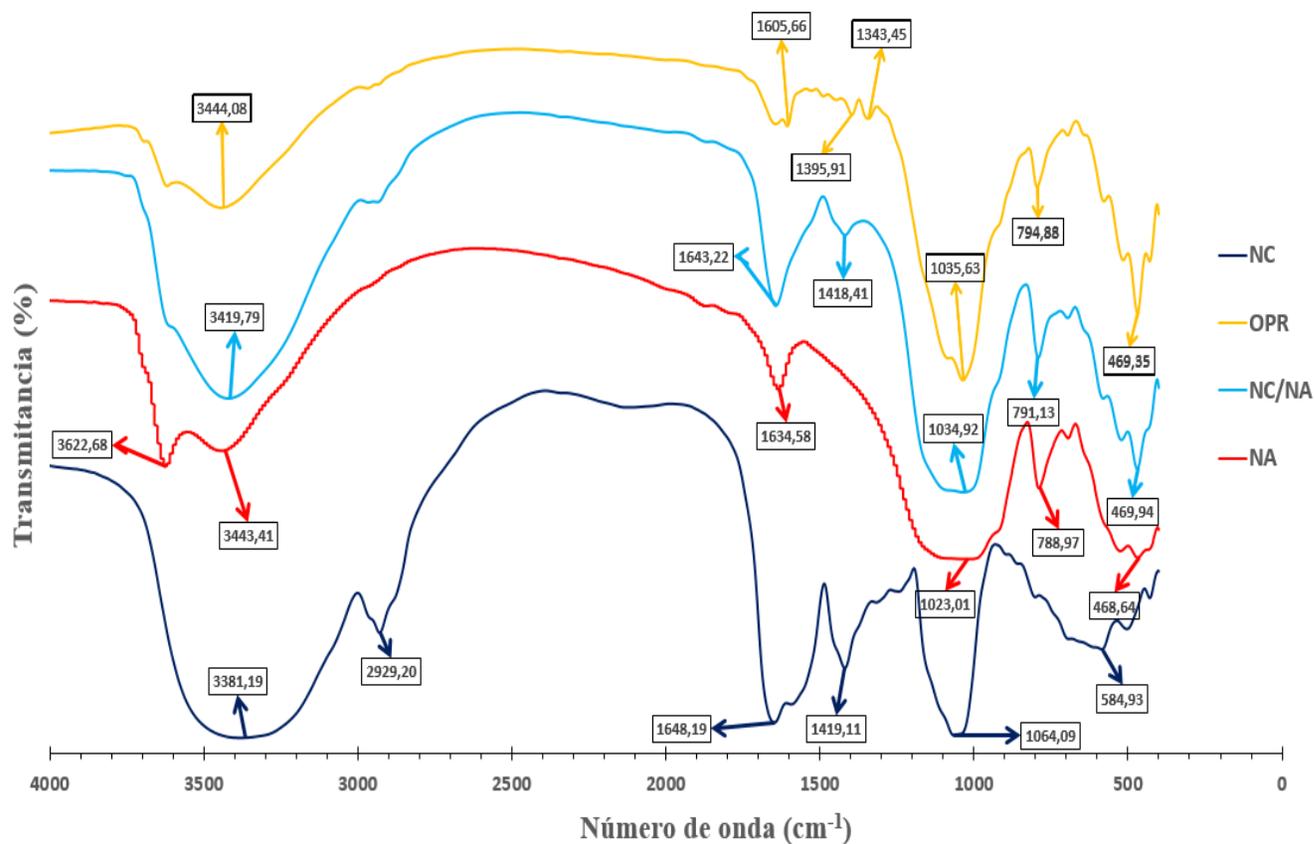
presente en todos los minerales arcillosos, el pico 788.97 cm^{-1} responde a la banda de adsorción de Si-O con presencia de cuarzo y por último el pico 468.64 cm^{-1} el cual responde a una deformación angular del Si-O-Si (Choque et al., 2022; Alvares et al., 2017).

Las bandas del espectro NC/NA presentan una cierta similitud con los espectros de los adsorbentes descritos anteriormente, el pico 3419.79 cm^{-1} indica la vibración de OH, la banda 1643.22 cm^{-1} indica la vibración del grupo C=O y OH del agua absorbida, el pico 1418.41 cm^{-1} corresponde a las vibraciones de carbonato, la banda 1034.92 cm^{-1} y 791.94 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de Si-O y la pérdida de cuarzo más las moléculas de agua, finalmente la banda 469.94 cm^{-1} responde a la vibración de Si-O-Mg y Si-O-Fe (Choque et al., 2023; Tuesta et al., 2005).

La banda del tratamiento óptimo de remoción (OPR), demuestra que algunos picos del espectro de la remoción de AM disminuyen, esto se debe a que se lleva a cabo un proceso de adsorción (Angulo et al., 2012), mientras la aparición de nuevas bandas es la identificación de grupos propios del AM. Las bandas comprendidas entre $(3300\text{ a }3600)\text{ cm}^{-1}$ presentan un desplazamiento a 3444.08 cm^{-1} el cual responde a la presencia de los grupos funcionales O-H y N-H que participaron en la adsorción mientras que las bandas comprendidas en el tramo $(1648\text{ a }1634)\text{ cm}^{-1}$ presentan un desplazamiento hacia 1605 cm^{-1} por la interacción del grupo C=O, además aparece una nueva banda 1395.91 cm^{-1} y 1343.45 cm^{-1} que está relacionado con la superposición entre el C(=O)-O en carboxilo y el estiramiento del grupo C-N (Nayak y Pal, 2017).

Figura 7

Espectro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) de NC, NA, copolímero, tratamiento óptimo



Nota: Elaboración propia. Donde: NC, *Nostoc sphaericum* atomizado; NA, nanoarcilla; NC/NA, copolímero; OPR, tratamiento óptimo de remoción.

De este modo la arcilla lleva a cabo la adsorción en los bordes de su estructura laminar formando diferentes complejos con el Si-O y los hidroxilos mientras que la presencia de gomas del NC (xilosa, galactosa y glucosa) tienen la capacidad de retener los grupos funcionales del AM sobre su superficie (Choque et al., 2022; Campos et al., 2011).

El reporte de los datos de FTIR guardan relación con los reportes de Lavado et al. (2021); Tuesta et al. (2005); Deniz y Tezel (2020) y Nayak y Pal (2017), quienes registraron picos relacionados con grupos funcionales como Si-O, MgO, Al-OH-Mg, Al-Al-OH, Al-OH-Fe, -NH, C-H, -OH que son característicos de las algas y arcillas. Es así que los espectros evidenciados luego del tratamiento corresponden a los principales grupos funcionales como O-H, N-H, C-H, C=H, C=C, C-N, -COOH y C-O también evidenciados por, (Lavado et al., 2021) quienes afirman que son los responsables de la remoción del AM ya que se les atribuye a la adsorción de las moléculas catiónicas del AM.

5.6. Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

La Figura 8, muestra la morfología de la superficie del NC atomizado a $100\ \mu\text{m}$ el cual presenta una estructura porosa y homogénea con partículas de menor tamaño, cuya composición media es C 50.4 %, O 42.2 %, Ca 0.2 %, N 6.8 %, Mg 0.1 % y Al 0.1%.

Por otro lado, la Figura 9, muestra la morfología de la NA a $50\ \mu\text{m}$ que presenta forma y tamaño heterogéneo, las partículas se muestran con una ligera aglutinación. La composición media está dada por el C 14.5 %, O 65.6 %, Al 4.1 %, Si 12.4 %, K 0.2 %, Ca 0.1 %, Ti 0.1 %, Fe 0.2 %, N 2.2 % y P 0.1%.

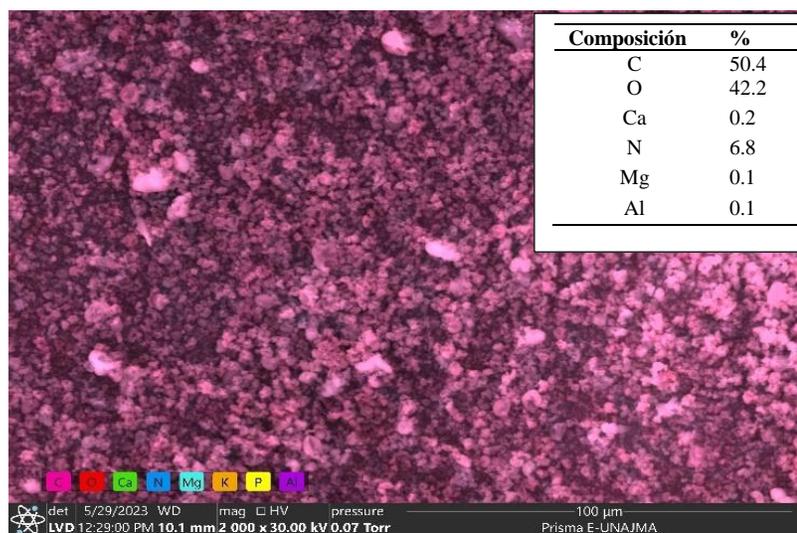
De la misma forma la Figura 10, evidencia la morfología del NC/NA a $100\ \mu\text{m}$, que muestra partículas dispersas con forma y tamaño heterogéneo, cuya composición media es C 42 %, O 47.6 %, Na 0.7 %, Mg 0.3 %, Al 1.8 %, Si 4.6 %, K 0.2 %, Ca 0.1 %, Ti 0.1 %, Fe 0.2 %, N 2.2 % y P 0.1 %.

Asimismo, la Figura 11, revela la morfología del tratamiento óptimo de remoción a $200\ \mu\text{m}$ donde se observa que presenta una superficie irregular por la adhesión de AM sobre las

partículas del copolímero, cuya composición media es C 34.46 %, O 51.6 %, K 0.4 %, Si 8.8 %, Al 2.8 %, Fe 0.4 %, Na 0.8 %, Mg 0.5 %, Ca 0.1 % y Ti 0.1 %, también se evidencia la desaparición de In, N, y P.

Figura 8

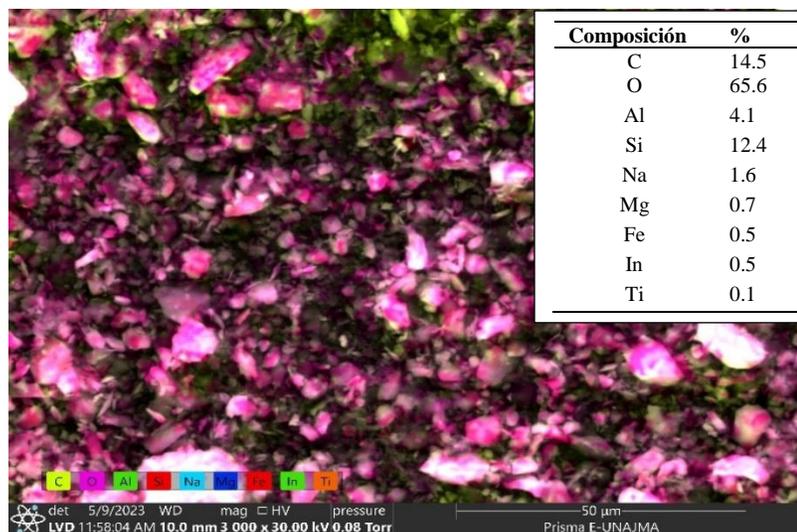
Imagen SEM del Nostoc sphaericum atomizado a 100 μm



Nota: Imagen proporcionado por el equipo de Microscopio Electrónico de Barrido.

Figura 9

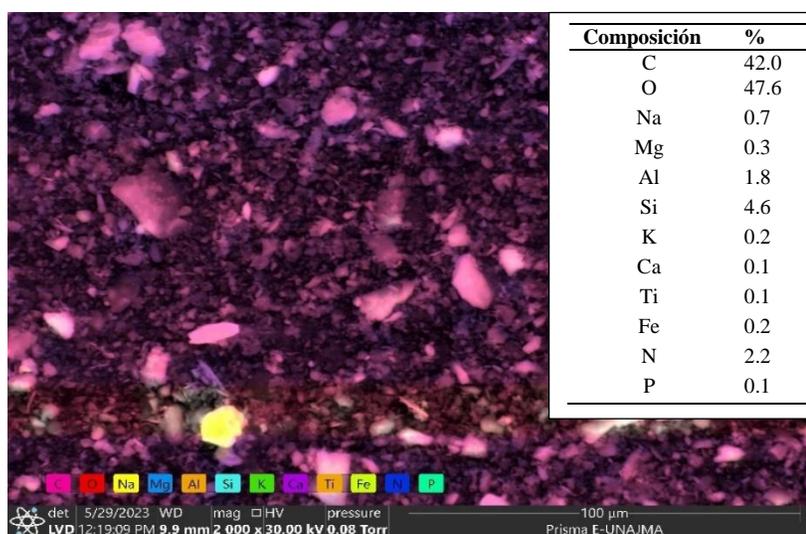
Imagen SEM nanoarcilla activada a 50 μm



Nota: Imagen proporcionado por el equipo de Microscopio Electrónico de Barrido.

Figura 10

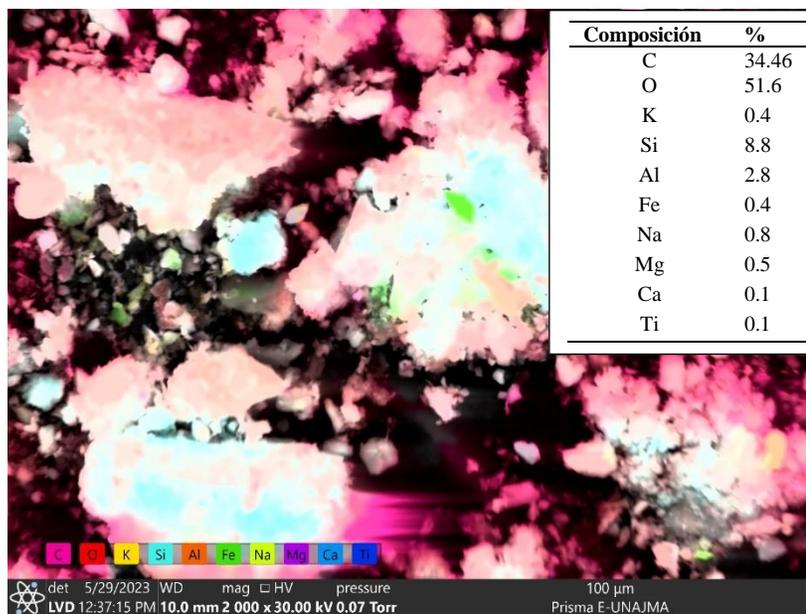
Imagen SEM copolímero NC/NA a 100 μm



Nota: Imagen proporcionado por el equipo de Microscopio Electrónico de Barrido.

Figura 11

Imagen SEM del tratamiento óptimo de AM a 100 μ m



Nota: Imagen proporcionado por el equipo de Microscopio Electrónico de Barrido.

Lavado et al.(2021) al analizar la superficie del *Nostoc commune* encuentran una superficie homogénea con grietas, mientras que la superficie de la NA que (Choque et al., 2022) analizan presentan partículas porosas de tamaño heterogéneo.

Asimismo, Mona et al. (2011) evidencian que después de emplear una cianobacteria para el tratamiento del color violeta de cristal la superficie de esta presentó alteraciones. El comportamiento se atribuye a la adhesión de las moléculas del colorante en los poros, espacios disponibles y grietas. Dicha reacción genera una vista de partículas irregulares con superficie homogénea.

5.7. Efecto de la Concentración del NC/NA y pH en la Adsorción de AM.

En la Tabla 9, se aprecia los resultados de la concentración final de AM tras ser sometido a tratamientos con diferentes pH y concentración de adsorbente. A pH 5 y 20 ppm de adsorbente el valor final fue 2.73 mg AM/L, asimismo se observa que la menor concentración final fue 0.20 mg AM/L en un pH 6 y 50 ppm de adsorbente, observando que los tratamientos muestran diferencia significativa (p-value <0.05).

Tabla 9

Efecto de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM.

pH	Concentración		Tratamiento	\bar{x}	\pm	S	C.V. (%)	*
	de	NC/NA (ppm)						
5	20		T_1	2.73	\pm	0.15	5.38	a
	30		T_2	1.34	\pm	0.19	14.50	b
	50		T_3	0.26	\pm	0.02	5.93	c,d
6	20		T_4	1.25	\pm	0.05	3.83	b
	30		T_5	0.38	\pm	0.01	3.20	c
	50		T_6	0.20	\pm	0.05	24.70	d
8	20		T_7	1.19	\pm	0.02	2.04	b
	30		T_8	0.34	\pm	0.00	0.99	c,d
	50		T_9	0.34	\pm	0.04	12.90	c,d

Nota: Elaboración propia. Donde: \bar{x} , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad.

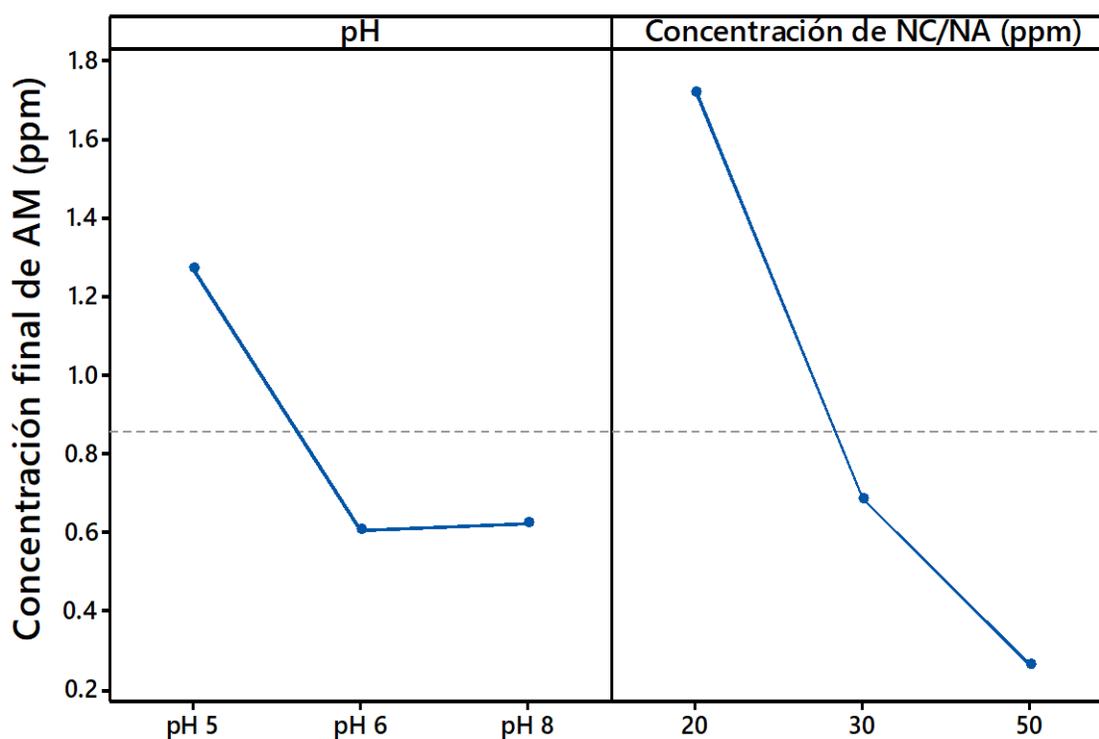
*Las letras diferentes indican diferencia significativa, evaluado a través del test Tukey al 5% de significancia.

La Figura 12, muestra los resultados del efecto del pH y la concentración del NC/NA en la adsorción de AM. Se observa que a pH 5 se encuentran los valores más altos de concentración final, sin embargo, a medida que se incrementa el pH en un rango 5 a 6 los valores de concentración final disminuyen significativamente hasta alcanzar el pH 6 en el cual se mantiene ligeramente estable, en el pH 8 los valores de concentración final no muestran una variación considerable.

Asimismo, se observa el efecto de la concentración del copolímero sobre la concentración final de AM, a 20 ppm de NC/NA la concentración final de AM presenta los valores más altos, mientras al incrementar el copolímero a 30 ppm disminuye drásticamente la concentración final de AM, es así que los valores con la menor concentración final de AM se registran a 50 ppm de copolímero.

Figura 12

Gráfica de efectos principales de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM.

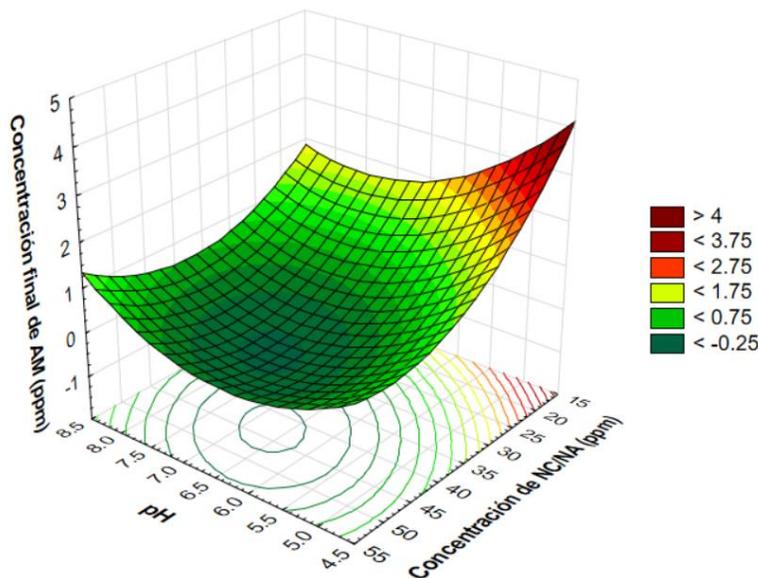


Nota: Elaboración propia a través del software MINITAB.

La Figura 13, presenta una superficie de respuesta cuadrática, el cual indica que en el rango de pH 4.5 a 5.0 y dosis de NC/NA 15 a 20 ppm la concentración de AM será mayor a 4, pero si el pH toma valores de 6.5 a 7.0 y dosis de NC/NA 40 a 45 ppm entonces se obtendrá una baja concentración de AM.

Figura 13

Superficie de respuesta para el efecto de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM.



Nota: Elaboración propia a través del software STATISTICA.

Amasifuen y Sanchez (2022), al tratar AM con *Punica granatum* obtuvieron 4.7 ppm de concentración final a partir de la inicial 13.7 ppm de AM esto refleja una remoción de regular a buena. El resultado se debe a que el tiempo de contacto fue menor a 24 horas imposibilitando que todas las zonas de adsorción sean saturadas, asimismo la falta de condicionamiento del pH influye sobre la interacción iónica, al no considerar la diferencia entre el valor del pH y el PCC del adsorbente entonces se dificulta las reacciones e interacciones de los iones del adsorbente y las moléculas del colorante, causando enlaces débiles y reversibles. Sin embargo, al tratar una concentración de 10 ppm de AM con NC/NA se logra una concentración final de 0.2 ppm el cual se debe al estudio de PCC, potencial ζ (Zeta), tamaño de partícula, análisis FTIR, análisis SEM y el condicionamiento del pH previo al tratamiento.

5.8.Efecto de la Concentración del NC/NA y pH en la Remoción de AM.

La Tabla 10, muestra el resultado del porcentaje de remoción, se observa que el tratamiento T_6 presenta mayor remoción 97.98 % a pH 6 y 50 ppm de copolímero, mientras el tratamiento T_3 se asemeja con 97.38 % de remoción a pH 5 y 50 ppm de copolímero. También se percibe que el T_1 presenta la menor remoción con un valor de 72.59 %.

Se evidencia que estadísticamente cada tratamiento muestra diferencia significativa (p-value <0.05). Por otro lado, el C.V de todos los tratamientos es menor al 5% que indica una baja dispersión de los datos, asimismo la desviación estándar presenta valores bajos.

Tabla 10

Efecto de la concentración de NC/NA y pH en la remoción de AM

pH	Concentración de NC/NA (ppm)	Tratamiento	\bar{x}	\pm	S	C.V.(%)	*
5	20	T_1	72.59	\pm	1.48	2.03	d
	30	T_2	86.53	\pm	1.95	2.26	c
	50	T_3	97.38	\pm	0.16	0.16	a,b
6	20	T_4	87.48	\pm	0.48	0.55	c
	30	T_5	96.19	\pm	0.12	0.13	b
	50	T_6	97.98	\pm	0.50	0.51	a
8	20	T_7	88.01	\pm	0.24	0.28	c
	30	T_8	96.57	\pm	0.03	0.04	a,b
	50	T_9	96.59	\pm	0.44	0.46	a,b

Nota: Elaboración propia. *Donde:* \bar{x} , es el promedio aritmético; S , es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad.

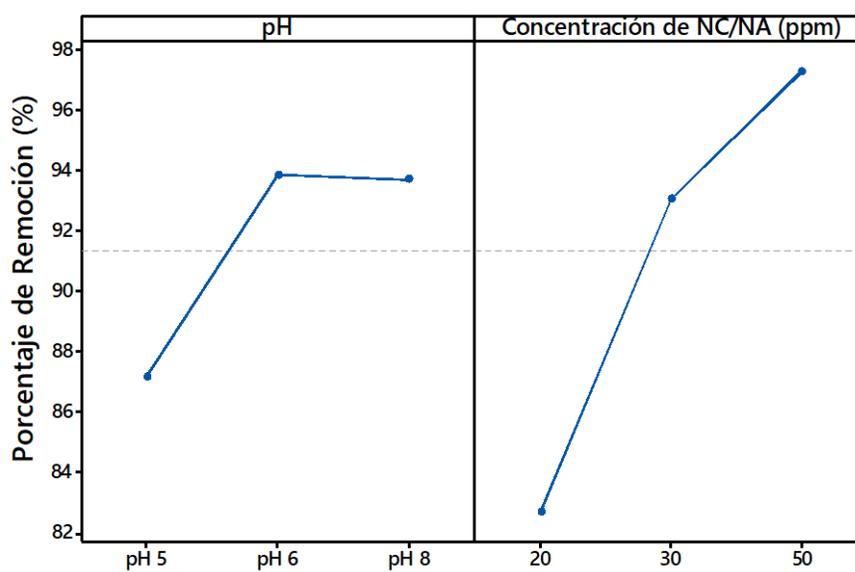
*Las letras diferentes indican diferencia significativa, evaluado a través del test Tukey al 5% de significancia.

La Figura 14, muestra la gráfica de efectos principales del pH y concentración de NC/NA en la remoción de AM; a pH 5 el porcentaje de remoción es menor, mientras a pH 6 la remoción incrementa y se mantiene en pH 8.

Por otro lado, la concentración de NC/NA indica que a menor concentración el porcentaje de remoción es directamente proporcional, mientras al incrementar a 30 y 50 ppm el porcentaje de remoción también incrementa considerablemente.

Figura 14

Gráfica de efectos principales de la concentración del NC/NA y pH en la remoción de AM.

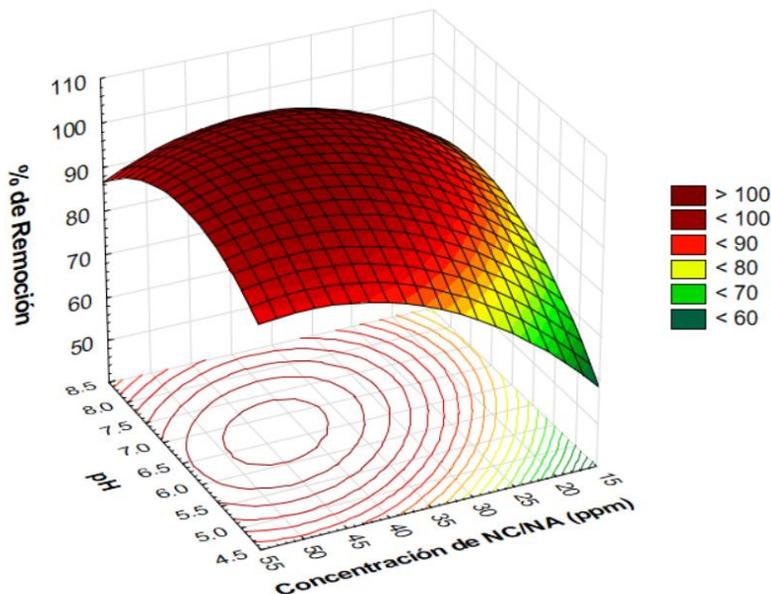


Nota: Elaboración propia a través del software MINITAB.

La Figura 15, evidencia una superficie de respuesta cuadrática, donde en un rango de pH 6.0 a 7.0 y NC/NA de 35 a 50 ppm el resultado mostrará valores óptimos, mientras sí se emplea una concentración de NC/NA de 15 a 25 ppm y pH 4.5 a 5.5 entonces los valores finales del porcentaje de remoción serán menores al 70%.

Figura 15

Superficie de respuesta para el efecto de la concentración del NC/NA y pH en la remoción de AM.



Nota: Elaboración propia a través del software STATISTICA.

El pH en la remoción de AM está relacionada con el PCC, para adsorbentes con un PCC ≥ 6 y tratamientos en pH ≥ 6 presentan mejores resultados en la remoción del color AM, esto se debe a la variación del pH que afecta a la superficie del copolímero y al grado de ionización de los grupos funcionales del color (Elmoubarki et al., 2015). Es decir, que al tener de referencia el PCC 6.0 las cargas netas son nulas en este punto, por lo tanto si el pH disminuye entonces la superficie del NC/NA se protona causando repelión con las cargas positivas y compitiendo con los grupos catiónicos del AM por los sitios de adsorción, mientras si la solución tiene un pH mayor 6.0 entonces la superficie del NC/NA se desprotona siendo efectiva para la adsorción del colorantes catiónicos a través de las fuerzas de atracción electrostática (Nayak y Pal, 2017; Subramaniam y Ponnusamy, 2015).

Por otro lado, si el NC/NA presenta mayor área de superficie disponible para la adsorción entonces la remoción será mayor ya que las partículas del color tienen un tamaño pequeño.

Es así que la remoción del color se ve favorecida con la superficie del adsorbente, al incrementar la concentración del NC/NA la remoción aumenta. Por el contrario Ruiz (2018), menciona que tener una mayor dosis de adsorbente puede ser desfavorable por la aglomeración de partículas el cual impide que los iones del AM ocupen con facilidad los sitios activos. En cambio, si se emplea una baja concentración de adsorbente entonces los sitios activos serán saturados en menor tiempo y las partículas de color quedarán libres.

En tanto, Bejarano et al (2020), demuestra que no todas las arcillas son efectivas en la remoción, sino que depende del pH, es así que en medios ácidos es efectivo la adsorción de colorantes de carácter aniónico, mientras que en medios alcalinos es efectiva la adsorción de colorantes catiónicos, además al aumentar la dosis del adsorbente los resultados no muestran una mejor remoción a causa de una interacción frágil entre el adsorbente, adsorbato y el pH. Sin embargo, Lavado et al., (2021) al incrementar *Nostoc commune* la remoción de AM presenta una mejora.

5.9. Modelamiento de Porcentaje de Remoción de Azul de Metileno mg/L

Se obtuvo modelos matemáticos que permitieron describir la remoción de AM en función de las variables (pH y concentración de NC/NA).

Tabla 11*Parámetros del modelamiento*

Modelo	β_0	a	b	c	d	e	R^2
Lineal	61.23	0.45	2.35	-	-	-	0.52
$\%R = \beta_0 + aC + bpH + \varepsilon$							
Lineal con interacción	27.55	1.46	7.67	-0.16	-	-	0.58
$\%R = \beta_0 + aC + bpH + cCpH + \varepsilon$							
Cuadrático con interacción	-120.51	3.44	44.69	-0.16	-0.03	-2.82	0.88
$\%R = \beta_0 + aC + bpH + cCpH + dC^2 + epH^2 + \varepsilon$							

Nota: Elaboración propia. Donde: β_0 , **a**, **b**, **c**, **d**, **e** son coeficientes calculados por el modelo.

La Tabla 11, muestra los parámetros del modelamiento, se evaluaron los tres modelos empleados para identificar el mejor ajuste al porcentaje de remoción. El primer modelo empleado fue lineal, que presenta R^2 0.52, del mismo modo se evaluó un modelo lineal con interacción, cuyo R^2 fue 0.58, este valor determina que el modelo aún no se ajusta correctamente. A diferencia de los primeros el modelo cuadrático con interacción se ha adecuado favorablemente obteniendo un valor de R^2 0.88. valores de $R^2 > 0.7$ son adecuados para un buen ajuste (Ligarda et al., 2023).

El modelo cuadrático con interacción muestra que cada uno de los factores presenta una influencia en el porcentaje de remoción, el coeficiente constante β_0 , d , e y la interacción entre la concentración y el pH (c) presentan un impacto negativo, mientras que los coeficientes a y b permiten incrementar la remoción de AM.

Bianco et al. (2011); Chatterjee et al. (2012); Deniz y Tezel (2020) y Nayak y Pal (2017), optimizaron la remoción de AM, aguas residuales y otros colorantes en el cual obtuvieron modelos que presentan el coeficiente constante β_0 positivo mientras que la interacción de sus variables muestran efecto negativo sobre la respuesta, sin embargo la remoción final es óptima, a diferencia del modelamiento que realiza (Vicuña y Soto, 2022) el coeficiente constante β_0 es negativo, pero la contribución de cada una de las variables y sus interacciones resultan ser favorables para la variable de respuesta.

5.10. Optimización del Porcentaje de Remoción

La Tabla 12, muestra los resultados optimizados, los parámetros y sus respectivas restricciones, en el que se observa que el pH óptimo es 6.8, mientras que la concentración o dosis del NC/NA es 39.2 ppm para obtener 99.1 % de remoción.

Tabla 12

Optimización del proceso de remoción

Parámetro	Restricciones		Valor óptimo
Remoción (%)	>90		99.1
pH	>5	<8	6.8
Concentración NC/NA (ppm)	>20	<50	39.2

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 13, muestra el valor final del porcentaje de remoción donde se evidencia que la remoción fue 97.85 % de AM en condiciones óptimas, sin embargo, el dato experimental se aleja ligeramente del valor predicho. Por otro lado, la desviación estándar y el C.V se acercan al cero dando a entender que no existe una variación de la media del % de remoción y que los datos no se encuentran dispersos.

Tabla 13*Porcentaje de remoción óptimo*

Parámetros		\bar{x}	\pm	<i>S</i>	<i>C.V.(%)</i>
pH	6.8				
Concentración de NC/NA (ppm)	39.2	97.85 %	\pm	0.05	0.05

Donde: \bar{x} , es el promedio aritmético; *S*, es la desviación estándar; *C.V.*, es el coeficiente de variabilidad.

Bezerra et al. (2008), señalan que la existencia de razones físicas e instrumentales durante el procedimiento experimental ocasiona una divergencia entre los valores predichos y datos experimentales, es así que el conjunto de condiciones no refleja valores óptimos, para ello se debe realizar mejoras durante el procedimiento experimental con cambios en los factores o parámetros, sin embargo, dichos cambios pueden mejorar o empeorar los resultados, además indican que otra alternativa que permite mejorar y obtener una respuesta específica es la metodología de multicriterio que considera diferentes respuestas al mismo tiempo a través de la construcción de funciones, asimismo (Nayak y Pal, 2017) sostienen que la optimización por redes neuronales artificiales también mejora y permite entender el mecanismo de la remoción ya que considera la interacción de múltiples variables, sin embargo, en ambas investigaciones coinciden que la MSR tiene mayor consolidación y beneficio.

5.11. Cinética de Adsorción

En la Tabla 14, se muestra los resultados experimentales en un tiempo de 0 a 400 minutos, se observó que la capacidad máxima de adsorción fue 19.98 mg/g.

Tabla 14

Datos experimentales de la cinética de adsorción de AM

<i>t</i> (minutos)	<i>q_t</i> (experimental)
0	0.00
20	18.48
40	19.29
60	19.03
100	19.49
150	19.98
200	19.18
300	19.79
400	19.98

Donde: t (min) es el tiempo de contacto y q_t ($\frac{mgAM}{g}$) es capacidad de adsorción en un tiempo.

La Tabla 15, muestra los parámetros y datos estadísticos de los modelos empleados, en ambos casos se evaluó mediante el método Quasi-Newton. El nivel de significancia que se empleó fue 5 %. El modelo de primer orden presenta un R^2 0.9974 este coeficiente es alto, la cantidad de AM absorbido en equilibrio q_e fue 19.55 mg/g con una tasa de adsorción k de 0.14 (min^{-1}).

Por otro lado, el modelo de segundo orden presenta un R^2 0.9983, el valor de q_e es 19.82 mg/g y la velocidad o tasa de adsorción k es 0.034 g/mg.min, los residuales para ambos casos es tendencioso, mientras que el error relativo promedio EMR y la prueba de Chi-cuadrado X^2 muestran valores bajos.

Es así que los valores se ajustan convenientemente al modelo de segundo orden ya que $R^2 = 0.9983$, además la ligera diferencia entre ambos modelos se debe a una limitación en las capas que controlan el proceso de adsorción física, el modelo de segundo orden implica enlaces químicos

en la monocapa del copolímero, también establece que el cuadrado de los sitios de adsorción es proporcional al cuadrado de los sitios libres (Choque et al., 2022).

Por otro lado, se observa en la Tabla 14 y 15 los valores de q_t y q_e tienen una mínima diferencia, esto explica que el AM es absorbida en 2 sitios activos, similar comportamiento obtuvo (Vasco y Betancur, 2014) al tratar el color índigo carmín, asimismo (Bejarano et al., 2020) obtiene resultados semejantes de q_e al emplear arcillas sobre el color basic azul marino 2 RN, en cual el valor k también se asemeja ya que presenta valores bajos, dando entender que la adsorción es lenta.

Tabla 15

Parámetros de modelos cinéticos de la adsorción de AM

Modelo	pH	Dosis NC/NA (ppm)	q_e ($\frac{mg}{g}$)	k	R^2	Residuales	EMR	χ^2
<i>pseudo primer orden</i>	6.8	39.2	19.549	0.144	0.9974	Tendencioso	0.116	0.04
$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t$								
<i>pseudo segundo orden</i>	6.8	39.2	19.819	0.034	0.9983	Tendencioso	0.557	0.087
$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e}$								

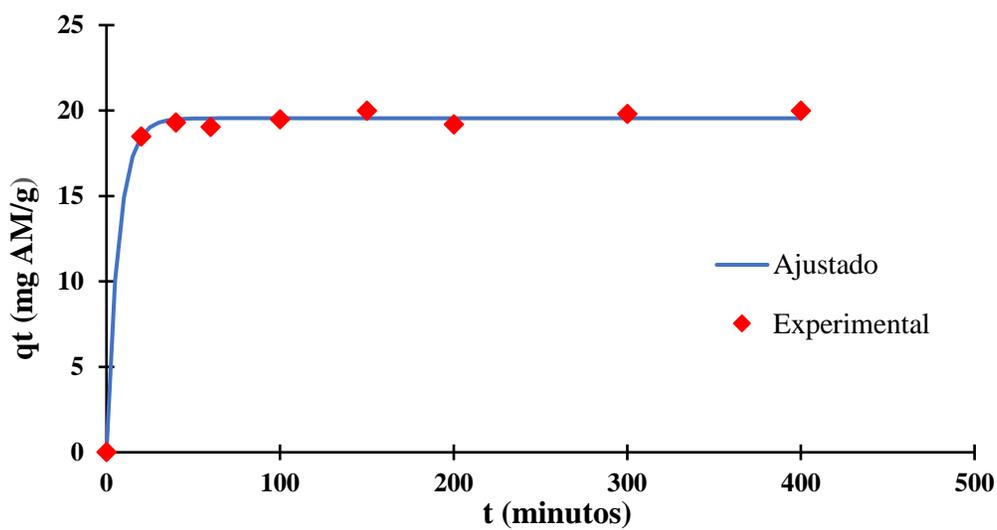
Nota: Elaboración propia. Donde: q_e ($\frac{mg}{g}$), es la cantidad de AM absorbido en equilibrio; k_1 (min^{-1}), es la constante de velocidad de adsorción del modelo de primer orden; k_2 ($\frac{g}{mg \cdot \text{min}}$) es la constante de velocidad de adsorción del modelo de segundo orden; R^2 , es el coeficiente de ajuste; EMR, error relativo medio; χ^2 , Chi-Cuadrado.

En la Figura 16 y 17, se aprecia que los primeros 20 minutos la adsorción del colorante fue rápida, luego la adsorción incrementó lentamente hasta alcanzar el minuto 60, a partir de este punto se alcanzó el equilibrio, logrando un comportamiento semejante, sin embargo, se distingue que los

datos experimentales se acercan mejor a los datos ajustados del modelo de segundo orden, esto involucra un proceso denominado quimisorción en el cual se intercambian iones de la superficie del adsorbente y las moléculas de AM (Deniz y Tezel, 2020).

Figura 16

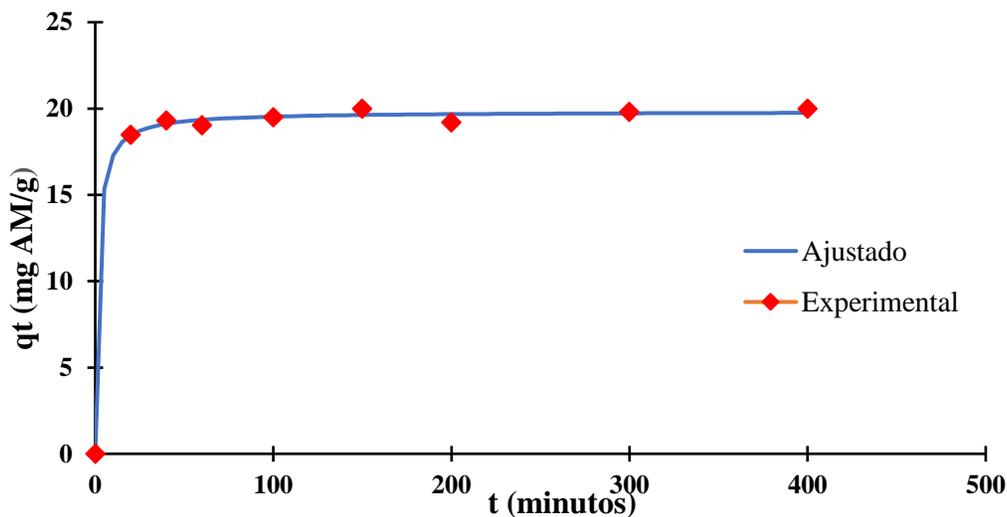
Modelo de pseudo primer orden



Nota: Elaboración propia. Donde: q_t ($\frac{mgAM}{g}$) es capacidad de adsorción en un tiempo; t, tiempo en minutos.

Figura 17

Modelo de pseudo segundo orden



Nota: Elaboración propia. Donde: q_t ($\frac{mgAM}{g}$) es capacidad de adsorción en un tiempo; t, tiempo en minutos.

La velocidad de adsorción es rápida durante los primeros 20 minutos debido a la disponibilidad de los sitios activos del copolímero lo cual permite una mayor posibilidad de adsorber o interactuar entre los grupos funcionales del copolímero -NH, Al-O-Si, Si-O, -C=O, -OH y los átomos de oxígeno y nitrógeno, mientras que a partir del punto de equilibrio los sitios activos disminuyen y la adsorción empieza a darse por el mecanismo de difusión (Choque et al., 2022).

Lavado et al. (2021), al tratar AM con *Nostoc commune* evidenciaron que los primeros 10 minutos la adsorción fue rápida y mientras el punto de equilibrio alcanza en el minuto 60, dicho periodo se debe la existencia de sitios insaturados, además el sistema también presentó una adsorción lenta ya que los valores de la velocidad de adsorción son bajas.

Conclusiones

Se determinó el efecto del pH y la concentración del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en la remoción de AM en solución acuosa, el cual presentó un efecto positivo evidenciando un 97.98 % de remoción, asimismo se demostró que el pH y la concentración presentan una relación directamente proporcional con la remoción.

Se determinó el efecto de la concentración del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en la remoción de AM en solución acuosa, el cual mostró un efecto positivo revelando que a 20 ppm se remueve el 72.59 %, mientras que al incrementar a 50 ppm se remueve 97.98 %.

Se determinó el efecto del pH en la remoción de AM a través del uso del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla en solución acuosa, el cual reveló que a pH 5 se remueve 72.59 %, mientras a pH 8 se remueve 96.59 % evidenciando que el pH tiene efecto sobre la remoción.

Se determinó la capacidad de remoción de color de AM en medio acuoso a través del uso del copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y nanoarcilla el cual evidenció una buena capacidad logrando adsorber 19.819 (mg/g) de AM y ajustándose al modelo pseudo de segundo orden.

Recomendaciones

Realizar investigaciones para el tratamiento de aguas residuales municipales y no municipales empleando el NC/NA, buscando lograr una nueva metodología económica y eficaz en las plantas de aguas residuales.

Realizar investigaciones para el tratamiento de efluentes residuales de la industria textil empleando el NC/NA para lograr la remoción de la mezcla de colores diferentes.

Realizar estudios de isotermas de adsorción para evaluar el efecto que la temperatura tiene en la remoción de AM empleando el NC/NA.

Realizar estudios de la remoción de AM evaluando parámetros biológicos como la DBO, DQO y Carbono orgánico total, dichos parámetros precisaran para que uso es apta el agua tratada.

Emplear diferentes concentraciones de AM para el tratamiento, ya que también es un factor que tiene incidencia en la capacidad de adsorción del NC/NA.

Realizar estudios empleando el NC/NA para la adsorción de metales pesados, de este modo coadyuvar con el tratamiento de fuentes de agua contaminados por relaves mineros.

Realizar estudios aplicando el NC/NA para el tratamiento de fármacos residuales, permitiendo una alternativa de solución para el tratamiento de aguas municipales, efluentes provenientes de clínicas, hospitales, centros de salud y efluentes dicha industria.

Referencias Bibliográficas

- Akbari, M., Hallaji, A., Reza, A., Shahbeig, H., Ghorbanian, S. (2015). Equilibrium and kinetic study and modeling of Cu(II) and Co(II) synergistic biosorption from Cu(II)-Co(II) single and binary mixtures on brown algae *C. indica*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(1), 140–149. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.11.004>
- Albis, A., Llanos, H., Galeano, J., García, D. (2018). Adsorción de azul de metileno utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) modificada químicamente con ácido oxálico. *Revista ION*, 31(2), 99–110. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n2-2018007>
- Almomani, F., Bohsale, R. R. (2021). Bio-sorption of toxic metals from industrial wastewater by algae strains *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris*: Application of isotherm, kinetic models and process optimization. *Science of the Total Environment*, 755. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142654>
- Alvares, A., Rocha, G., Bertolino, L. (2017). Mineralogical characterization of natural clays from Brazilian Southeast region for industrial applications. *Ceramica*, 63(366), 253–262. <https://doi.org/10.1590/0366-69132017633662045>
- Amasifuen, A., Sanchez, A. (2022). Capacidad de adsorción de azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante cáscara de *Punica granatum*, Lima 2022 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional César Vallejo]. In *Lima, Perú, Repositorio Institucional UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92535>
- Angulo, E. R., Castellar, G. C., Morales, E., Barrios, M. C. (2012). Remoción de azul de metileno por la microalga *chlorella* sp. Viva. *PROSPECTIVA*, 10, 53–60. <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/396>

- Arriola, M., Rojas, P. (2017). Síntesis y caracterización de nanoarcillas a partir de montmorillonita utilizando sales de amonio [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. In *Huancayo, Perú, Repositorio Institucional UNCP*.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3791>
- Ávila, E., Darghan, A., Leiva, F. (2016). Influencia de la mineralogía de arcillas, textura y contenido de carbono orgánico sobre el índice de friabilidad de suelos cultivados con caña de azúcar. *Agronomía Costarricense*, 40(2), 19–31.
<https://biblat.unam.mx/es/revista/agronomia-costarricense/articulo/influencia-de-la-mineralogia-de-arcillas-textura-y-contenido-de-carbono-organico-sobre-el-indice-de-friabilidad-de-suelos-cultivados-con-cana-de-azucar>
- Awasthi, A., Jadhao, P., Kumari, K. (2019). Clay nano-adsorbent: structures, applications and mechanism for water treatment. *SN Applied Sciences*, 1(9), 1–21.
<https://doi.org/10.1007/s42452-019-0858-9>
- Bejarano, M., Estrella, A., Márquez, O., Ríos, A., Rodríguez, M. (2020). Estudio de la adsorción de los colorantes Drimaren Amarillo CL-2R y Basic Azul Marino 2 RN en arcillas activadas Study of the adsorption of Drimaren Yellow CL-2R and Basic Navy Blue 2 RN dyes on activated clays Introducción Metodología Colorantes Caracter. *NOVASinergia*, 3(2), 93–107.
<https://doi.org/https://doi.org/10.37135/ns.01.06.08>
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., Escaleira, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965–977. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>
- Bianco, B., De Michelis, I., Vegliò, F. (2011). Fenton treatment of complex industrial wastewater:

- Optimization of process conditions by surface response method. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), 1733–1738. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.054>
- Cáceres, J. A. (2020). Capacidad de bioadsorción de cadmio(II) con *Bambusa vulgaris* en una solución acuosa contaminada-Huancayo [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. In *Huancayo, Perú, Repositorio Institucional UNCP*. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6418>
- Campos, E., Gómez, A. M., Velázquez, A. (2011). Estudio de la remoción del colorante azul de metileno empleando la biomasa. *Quivera (México)*, 13, 52–62. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/39112>
- Chaparro, C., Cabanzo, R., Mejía, E. (2014). Estudio de la adsorción de azul de metileno sobre óxido de grafeno. *Revista Colombiana de Materiales*, 5, 131–139. <https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.rcm.19442>
- Chatterjee, S., Kumar, A., Basu, S., Dutta, S. (2012). Application of Response Surface Methodology for Methylene Blue dye removal from aqueous solution using low cost adsorbent. *Chemical Engineering Journal*, 181–182, 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.081>
- Chávez, L. (2014). Composición química y actividad antioxidante in vitro del extracto acuoso de *Nostoc sphaericum* (Cushuro), laguna Cushurococha – Junín [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. In *Lima, Perú, Repositorio Institucional UNMSM*. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/3897/Chavez_hl.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Choque, D., Ligarda, C. A., Choque, Y., Solano, A. M., Ramos, B. S., Zamalloa, M. M., Álvarez,

- G. J., Zamalloa, A., Choque, K., Alzamora, S, H. (2023). Multimetal removal in aqueous medium using a potato starch/nopal mucilage copolymer: A study of adsorption kinetics and isotherms. *Results in Engineering*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101164>
- Choque, D., Ligarda, C., Ramos, B., Solano, A., Quispe, J., Choque, Y., Peralta, D., Martínez, E., Correa, O., Masco, M., Lechuga, W., Montalvo, F. (2022). Formulation of Novel Composite (Activated Nanoclay/Hydrocolloid of *Nostoc sphaericum*) and Its Application in the Removal of Heavy Metals from Wastewater. *Polymers*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/polym14142803>
- Contreras, E. (2006). Optimización de los procesos de tratamiento biológico de efluentes industriales para la remoción de carbono y nitrógeno [Tesis de Maestría, Universidad Nacional La Plata]. In *Buenos Aires, Argentina, Repositorio Institucional UNLP*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18522>
- Corpus, A., Alcantara, M., Celis, H., Echevarria, B., Paredes, J., Paucar, L. M. (2021). Cushuro(*Nostoc sphaericum*): Habitat, physicochemical characteristics, nutritional composition, forms of consumption and medicinal properties. *Agroindustrial Science*, 11(2), 231–238. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.13>
- Cortazar, A., González, C. A., Coronel, C., Escalante, J. A., Castro, J., Villagómez, J. R. (2012). Biotechnology applied to the degradation of textile industry dyes. *Universidad y Ciencia*, 28(2), 187–199. <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v28n2/v28n2a9.pdf>
- Cozzolino, D. (2002). Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de alimentos para animales. *Agrociencia*, VI(2), 25–32. <http://www.fagro.edu.uy/~agrociencia/VOL6/2/p25-32.pdf>

- Cuesta, E., Nieto, A. (2022). Evaluación de la capacidad de adsorción de arcillas naturales mediante cinética e isothermas de adsorción en la remoción de colorantes [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Riobamba, Ecuador, Repositorio Institucional UNACH*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9876>
- Deniz, F., Tezel, E. (2020). A low-cost and eco-friendly biosorbent material for effective synthetic dye removal from aquatic environment: characterization, optimization, kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *International Journal of Phytoremediation*, 22(4), 353–362. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1663485>
- Dos Santos, F., Flôres, M. F., Rodolfo, C. R. (2016). Development of methodology for identification the nature of the polyphenolic extracts by FTIR associated with multivariate analysis. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 153, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.08.020>
- Doulati, F., Badii, K., Yousefi, N., Shafaei, S. Z., Mirhabibi, A. R. (2008). Adsorption of Direct Red 80 dye from aqueous solution onto almond shells: Effect of pH, initial concentration and shell type. *Journal of Hazardous Materials*, 151(2–3), 730–737. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.048>
- Elmoubarki, R., Mahjoubi, F. Z., Tounsadi, H., Moustadraf, J., Abdennouri, M., Zouhri, A., El Albani, A., Barka, N. (2015). Adsorption of textile dyes on raw and decanted Moroccan clays: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Water Resources and Industry*, 9, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.11.001>
- Figueroa, G. (2003). Optimización de una superficie de respuesta utilizando JMP IN. *Mosaicos Matemáticos*, 11(11), 17–23. <https://semana.mat.uson.mx/Memorias/gudelia.pdf>

- Fijałkowska, G., Wiśniewska, M., Szewczuk, K., Jędruchiewicz, K., Oleszczuk, P. (2021). Comparison of lead(II) ions accumulation and bioavailability on the montmorillonite and kaolinite surfaces in the presence of polyacrylamide soil flocculant. *Chemosphere*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130088>
- Gamoudi, S., Srasra, E. (2017). Characterization of Tunisian clay suitable for pharmaceutical and cosmetic applications. *Applied Clay Science*, 146(January), 162–166. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.05.036>
- Gürses, A., Doğar, Ç., Yalçın, M., Açıkyıldız, M., Bayrak, R., Karaca, S. (2006). The adsorption kinetics of the cationic dye, methylene blue, onto clay. *Journal of Hazardous Materials*, 131(1–3), 217–228. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.036>
- Hernández, R., Mendoza, C. (2018). Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. In *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. shorturl.at/mwS39
- Herrera, R. (2012). Evaluación de los exopolisacáridos producidos por una cepa nativa de cianobacteria *Nostoc* sp. como sustrato en la producción de bioetanol [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Colombia]. In *Bogotá, Colombia, Repositorio Institucional UNAL*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11522>
- Huamán, Y. (2022). Adsorción de plomo y zinc a partir de soluciones acuosas mediante el uso de arcilla natural [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. In *Huancayo, Perú, Repositorio Institucional UNCP*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Hussain, S. A., Demirci, Ş., Özbayoğlu, G. (1996). Zeta potential measurements on three clays from Turkey and effects of clays on coal flotation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 184(2), 535–541. <https://doi.org/10.1006/jcis.1996.0649>

- Ita, Y., López, D. (2020). Evaluación de la capacidad de adsorción del colorante reactivo Synozol red K-3BS como absorbente una arcilla modificada térmicamente [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Santa María]. In *Arequipa, Perú, Repositorio Institucional UCSM*. <https://core.ac.uk/download/pdf/326750778.pdf>
- Izquierdo, M. (2010). Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción, evaluación de materiales y modelación del proceso. [Tesis Doctoral, Universidad de Valencia]. In *Valencia, España, Repositorio Institucional RODERIC*. <https://roderic.uv.es/handle/10550/23403>
- Jiménez, E., Prieto, F., Prieto, J., Acevedo, O. A., Rodríguez, R. (2016). Caracterización fisicoquímica de cuatro especies de agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel TT - Physicochemical characterization of four species of agaves with potential in obtaining pulp for paper making. *Dyna*, 83(197), 232–242. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532016000300030&lang=pt
- Jurado, B. T., Fuertes, C. R., Tomas Ch, G., Ramos, E. L., Arroyo, J. A., Cáceres, J. P., Inocente, M. C., Alvarado Ch, B., Rivera, B. C., Ramírez O, M. A., Ostos, H. F., Cárdenas, L. M. (2014). Estudio fisicoquímico, microbiológico y toxicológico de los polisacáridos del nostoc commune y nostoc sphaericum. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím*, 17(1), 15–22.
- Kausar, A., Shahzad, R., Iqbal, J., Muhammad, N., Ibrahim, S. M., Iqbal, M. (2020). Development of new organic-inorganic, hybrid bionanocomposite from cellulose and clay for enhanced removal of Drimarine Yellow HF-3GL dye. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149, 1059–1071. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.012>

- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, A. H., Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, L. A., Shah, T., Khan, I. (2022). Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation. *Water (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020242>
- Lavado, C, Asencios, Y. J. O., Cisneros, G., Unchupaico, I. (2021). Removal of methylene blue dye using *Nostoc commune* biomass: Kinetic, equilibrium and thermodynamic study. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, 20(2), 941–954. <https://doi.org/10.24275/rmiq/IA2291>
- Lavado, Carmencita, Sun, R., Catro, T. (2020). Biosorción del colorante azul de metileno usando los cladodios de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 86(3), 231–245. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.297>
- Ligarda, C. A., Choque, D., Moscoso, E., Palomino, H., Taipe, F., Aguirre, J. P., Arévalo, J. C., Muñoz, J. C., Quispe, U. R., Huamán, M. L., Gutiérrez, E., Sucari, R., Luciano, R., Muñoz, J. M., Guzmán, R. J. (2023). *Nanoencapsulation of Phenolic Extracts from Native Potato Clones (Solanum tuberosum spp.andigena) by Spray Drying*. 28, 1–20.
- Liu, L., Luo, X., Ding, L., Luo, S.L. (2019). Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water. *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*, 83–147. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814837-2.00004-4>
- Majdzadeh, K., Lofgren, E. A., Jabarin, S. A. (2014). The effect of particle size distribution on the dispersion of nanoclays in poly(ethylene terephthalate)/clay nanocomposites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(4), 358–368. <https://doi.org/10.1177/0731684413512229>
- Mansilla, G. (2013). Potencial de hidrogeniones- pH. *Revista de Actualización Clínica*, 40, 2076–

2082. http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/raci/v40/v40_a01.pdf

Martínez, O. (2013). Estudio de la adsorción de azul de metileno sobre nanotubos de haloisita modificados con ácido clorhídrico [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. In *México, Repositorio Institucional UNAM*. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/424103>

Melgoza, J. (2009). Degradación del azul de metileno en solución acuosa por los sistemas fenton y foto-fenton [Tesis de Postgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. In *México, Repositorio Institucional UANL*. <http://eprints.uanl.mx/21278/>

Mona, S., Kaushik, A., Kaushik, C. P. (2011). Waste biomass of Nostoc linckia as adsorbent of crystal violet dye: Optimization based on statistical model. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(3), 513–521. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.02.002>

Montero, R. (2016). Modelos de regresión lineal múltiple. In *Documentos de Trabajo en Economía Aplicada*. https://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion_lineal.pdf

Morales, N. (2018). Evaluación estructural de películas comestibles adicionadas con nanocompuestos y antimicrobianos de origen natural mediante microscopía de fuerza atómica [Tesis de Pregrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. In *México, Repositorio Institucional BUAP*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/ecffccab-3411-49d5-8a5b-5b25078513ef>

Mota, A. (2019). Remoción del colorante Azul Directo 71 en disolución acuosa mediante columnas empacadas con *Phanerochaete chrysosporium* inoculado sobre cáscara de tamarindo [Tesis de Postgrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. In *Morelia, México, Repositorio Institucional UMSNH*.

http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/1806/FB-M-2019-0421.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Najafi, H., Farajfaed, S., Zolgharnian, S., Mosavi, S., Asasian-kolur, N., Sharifian, S. (2021). A comprehensive study on modified-pillared clays as an adsorbent in wastewater treatment processes. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 8–36.

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.028>

Nayak, A., Pal, A. (2017). Green and efficient biosorptive removal of methylene blue by *Abelmoschus esculentus* seed: Process optimization and multi-variate modeling. *Journal of Environmental Management*, 200, 145–159. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.045>

Nieto, A. (2015). Adsorción del colorante amarillo básico 13 en una arcilla tipo montmorillonita. [Tesis de Pregrado, Instituto Politécnico Nacional,]. In *México, Repositorio Institucional IPN*. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17404/25-1-16748.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ponce, E. (2014). Nostoc: Un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica. *Idesia*, 32(2), 115–118. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292014000200015>

Redondo, F. (2018). Síntesis y caracterización de copolímeros bloque biocompatibles [Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur]. In *Bahía Blanca, Argentina, Repositorio Institucional UNS*. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4168>

Řeháková, K., Johansen, J. R., Casamatta, D. A., Xuesong, L., Vincent, J. (2007). Morphological and molecular characterization of selected desert soil cyanobacteria: Three species new to science including *Mojavia pulchra* gen. et sp. nov. *Phycologia*, 46(5), 481–502. <https://doi.org/10.2216/06-92.1>

- Rodríguez, M. (2014). Estudio de la Biosorción de Metales Pesados en Microalgas [Tesis Doctoral, Universidad del Zulia]. In *Maracaibo, Venezuela, Repositorio Institucional LUZ*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15429.37609>
- Rojas, Y., Zarate, C. (2015). Efecto del pH y el tiempo de contacto en la adsorción de cromo hexavalente en solución acuosa utilizando montmorillonita como adsorbente [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. In *Huancayo, Perú, Repositorio Institucional UNCP*. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1012>
- Rosas, N. M., Guerrero, V. H., Cañar, F. (2014). Activación química de nanoarcillas y su aplicación en la remoción de metales pesados. *Ix Congreso De Ciencia Y Tecnología Espe*, 117–122. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/view/92>
- Rosique, M. (2013). Bioadsorción de cadmio por biomasa de Opuntia [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena]. In *Cartagena, España, Repositorio Institucional UPCT*. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3768/pfc5624.pdf;sequence=1>
- Ruiz, E. (2022). Modelamiento a partir de superficie de respuesta en la optimización de la remoción de turbidez del agua a nivel de laboratorio - UNAS, 2020 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. In *Tingo María, Perú, Repositorio UNAS*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1507>
- Ruiz, M. S. (2018). Remoción de arsénico de disoluciones acuosas mediante un compuesto de alginato modificado con nanopartículas de hierro [Tesis de Postgrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. In *Morelia, México, Repositorio UMSNH*. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4765

- Salopek, B., Krasic, D., Filipovic, S. (1992). Measurement and application of zeta-potential. *Rudarsko-Geolosko-Naftni Zbornik*, 4, 147–151.
- Shooto, D., Patience, T., Bhila, B., Moloto, H., Bobby, E. (2020). Lead ions and methylene blue dye removal from aqueous solution by mucuna beans (velvet beans) adsorbents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103557. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103557>
- Subramaniam, R., Ponnusamy, S. (2015). Novel adsorbent from agricultural waste (cashew NUT shell) for methylene blue dye removal: Optimization by response surface methodology. *Water Resources and Industry*, 11, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2015.07.002>
- Tejadar, C., Villabona, Á., Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109–123. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Toribio, M. (2021). Remoción del color de las aguas residuales del teñido de jeans usados con fotocatalisis heterogénea [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional Del Centro Del Centro Perú]. In *Junín, Perú, Repositorio Institucional UNCP*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Tuesta, E. G., Vivas, M., Sun, R., Gutarra, A. (2005). Modificación Química de Arcillas y su Aplicación en la Retención de Colorantes. *Quím. Perú*, 71, 26–36.
- Vacca, V., Angulo, E., Puentes, D., Torres, J., Plaza, M. (2017). Uso de la microalga *Chlorella* sp. viva en suspensión en la decoloración del agua residual de una empresa textil/Using the microalgae *Chlorella* sp. live suspended in decoloration wastewater from a textile factory. *Prospectiva*, 15(1), 93–99. <https://doi.org/10.15665/rp.v15i1.829>

- Vasco, A. P., Betancur, M. V. (2014). Estudio de la cinética de adsorción de índigo carmín en piezas abrasivas. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 8(2), 131–139. <http://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas>
- Vicuña, E. C., Soto, A. (2022). Optimización del Proceso de Remoción de Pb²⁺ y Zn²⁺ por el Material Adsorbente- Floculante Neonitemr. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 87(4), 370–385. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.362>
- Vidal, L., Vargas, C. (2014). Medición de la absorbancia óptica de soluciones acuosas mediante la instrumentación virtual y el control. *Scientia et Technica*, 19(1), 5. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/download/8897/5705%0A>
- Zaruma, P., Proal, J., Chaires, I., Salas, H. (2018). Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: Una breve revisión textile industrial dyes and optimal wastewater effluents treatments: A short review. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas*, 19, 38–47. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/2216>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia

TÍTULO: Efecto del pH y la concentración de copolímero *Nostoc sphaericum* atomizado y Nanoarcilla en la remoción de Azul de Metileno en solución acuosa.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	Variables (dimensiones/indicadores)	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis Específico	V. Independiente:	Tipo
¿Cuál será el efecto del pH y concentración del copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla en la remoción de azul de metileno en solución acuosa?	Determinar el efecto del pH y concentración de copolímero <i>Nostoc Sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla en la remoción de AM.	El pH y la concentración de <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla influye significativamente en la remoción de azul de metileno.	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de copolímero Potencial de Hidrógeniones 	Experimental Diseño Experimental puro de tipo factorial 3 ²
			V. Dependiente:	
			<ul style="list-style-type: none"> Remoción de color 	
Problema Específico	Objetivo Específico	Hipótesis Específico	DIMENSIONES/INDICADORES	POBLACIÓN Y MUESTRA
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el efecto de la concentración de copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla en la remoción de azul de metileno en solución acuosa? ¿Cuál es el efecto del pH en la remoción de azul de metileno a través del uso del copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla en solución acuosa? ¿Cuál es la capacidad de remoción de color de azul de metileno en medio acuoso a través del uso del copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el efecto de la concentración de copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla en la remoción de azul de metileno en solución acuosa. Determinar el efecto del pH en la remoción de azul de metileno a través del uso del copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla en solución acuosa. Determinar capacidad de remoción de color de azul de metileno en medio acuoso a través del uso del copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla. 	<ul style="list-style-type: none"> La concentración de copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla muestra un efecto significativo en la remoción de azul de metileno en solución acuosa. El pH muestra un efecto significativo en la remoción de azul de metileno a través del uso del copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla en solución acuosa. El copolímero <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado y nanoarcilla muestra una alta capacidad de remoción de color de azul de metileno en solución acuosa. 	Dimensión 01 <ul style="list-style-type: none"> Concentración Dimensión 02 <ul style="list-style-type: none"> pH Dimensión 01 <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de Remoción 	Población 15 g de copolímero formulado a partir de <i>Nostoc sphaericum</i> atomizado/nanoarcilla. Muestra 5 gramos de Copolímero <i>Nostoc Sphaericum</i> atomizado/nanoarcilla
				TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
				Técnica <ul style="list-style-type: none"> Concentración de copolímero: Medida pH: Potenciométrica Remoción de color: Colorimétrica Instrumento <ul style="list-style-type: none"> Concentración de copolímero: Balanza Analítica pH: Potenciómetro Remoción de color: Espectrofotómetro
				PROCESAMIENTO DE DATOS
				<ul style="list-style-type: none"> Análisis de varianza ANOVA SPSS Y Minitab

Nota. Elaboración Propia

Anexo 02: Reportes Estadísticos

A. Estadísticos descriptivos del efecto de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM.

Tabla 16

Análisis de varianza

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>SC Ajust.</i>	<i>MC Ajust.</i>	<i>Valor F</i>	<i>Valor p</i>
Tratamiento	8	34.3926	4.29908	614.01	0.000
Error	48	0.3361	0.00700		
Total	56	34.7287			

Nota: Elaboración propia a través del software MINITAB.

Tabla 17

Resumen del modelo

<i>S</i>	<i>R-cuad.</i>	<i>R-cuad.</i>	<i>R-cuad.</i>
	<i>(ajustado)</i>	<i>(pred)</i>	
0.0836755	99.03%	98.87%	98.61%

Nota: Elaboración propia a través del software MINITAB.

Tabla 18

Medias del efecto de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desv.Est.</i>	<i>IC de 95%</i>
T1	6	2.7297	0.1469	(2.6610; 2.7984)
T2	6	1.3419	0.1945	(1.2732; 1.4105)
T3	9	0.26094	0.01548	(0.20486; 0.31702)
T4	6	1.2468	0.0477	(1.1782; 1.3155)
T5	6	0.37933	0.01215	(0.31064; 0.44801)
T6	6	0.2009	0.0496	(0.1322; 0.2695)
T7	6	1.19357	0.02439	(1.12489; 1.26226)
T8	6	0.34204	0.00337	(0.27335; 0.41072)
T9	6	0.3394	0.0438	(0.2707; 0.4081)

Desv.Est. agrupada = 0.0836755

Nota: Elaboración propia a través del software MINITAB.

B. Estadísticos descriptivos del efecto de la concentración del NC/NA y pH en el porcentaje de remoción de AM.

Tabla 19

Análisis de varianza

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>SC Ajust.</i>	<i>MC Ajust.</i>	<i>Valor F</i>	<i>Valor p</i>
Tratamiento	8	3468.02	433.503	614.01	0.000
Error	48	33.89	0.706		
Total	56	3501.91			

Nota: Elaboración propia a través del software MINITAB.

Tabla 20*Resumen del modelo*

<i>S</i>	<i>R-cuad.</i>	<i>R-cuad.</i> <i>(ajustado)</i>	<i>R-cuad.</i> <i>(pred)</i>
0.840246	99.03%	98.87%	98.61%

Nota: Elaboración propia a través del software MINITAB.

Tabla 21*Medias del efecto de la concentración del NC/NA y pH en la adsorción de AM*

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desv.Est.</i>	<i>IC de 95%</i>
T1	6	72.589	1.475	(71.899; 73.279)
T2	6	86.525	1.954	(85.836; 87.215)
T3	9	97.3797	0.1555	(96.8166; 97.9429)
T4	6	87.479	0.479	(86.790; 88.169)
T5	6	96.1909	0.1220	(95.5012; 96.8806)
T6	6	97.983	0.498	(97.293; 98.673)
T7	6	88.014	0.245	(87.325; 88.704)
T8	6	96.5654	0.0338	(95.8757; 97.2551)
T9	6	96.592	0.440	(95.902; 97.282)

Desv.Est. agrupada = 0.840246

Nota: Elaboración propia a través del software MINITAB.

C. Modelamiento y porcentaje de remoción de AM.

- Modelamiento

Tabla 22

Estadísticas de regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.97670683
Coefficiente de determinación R ²	0.95395624
R ² ajustado	0.87721663
Error típico	2.93193567
Observaciones	9

Nota: Elaboración propia a través del del utilitario Solver de Excel.

Tabla 23

Análisis de varianza del modelamiento

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	5	534.303183	106.860637	12.4310806	0.032166954
Residuos	3	25.7887403	8.59624676		
Total	8	560.091923			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	120.509081	47.6702213	2.52797401	0.08557595	-272.2170001	31.1988389	-272.217	31.1988389
concentración	3.44369865	0.85615644	4.02227735	0.02760399	0.719026758	6.16837054	0.71902676	6.16837054
pH	44.685874	14.0528649	3.17984085	0.05010014	-0.036614052	89.4083621	0.03661405	89.4083621
C*pH	0.15954417	0.06282719	-2.5394127	0.08472304	-0.359488339	0.0404	0.35948834	0.0404
C2	0.02779694	0.01055617	2.63323939	0.07810758	-0.061391395	0.00579752	-0.0613914	0.00579752
pH2	2.81648174	1.05561749	2.66808931	0.07581373	-6.175927716	0.54296424	6.17592772	0.54296424

Nota: Elaboración propia a través del del utilitario Solver de Excel.

- **Optimización**

Tabla 24*Valores de Optimización*

	<i>Concentración</i>	<i>pH</i>	<i>%remoción</i>
%remoción	39.16626632	6.81265534	99.0848178
Absorbancia			1.18297773

Nota: Elaboración propia a través del del utilitario Solver de Excel.

Tabla 25*Restricciones de la optimización*

<i>Restricciones</i>	
C máxima	50
C mínima	20
pH máximo	8
pH mínimo	5
Rendimiento máx.	100

Nota: Elaboración propia.

D. Cinética de Adsorción

Tabla 26

Datos estadísticos del modelo de primer orden

<i>pseudo first order</i>							
<i>datos experimentales</i>							
<i>t (minutos)</i>	<i>qt,expe</i>	<i>qe</i>	<i>k</i>	<i>qt,ajustado</i>	<i>diferencia^2</i>	<i>EMR</i>	<i>X2</i>
0	0.00	19.5489002	0.1439827	0	0.00	0	0
20	18.48			18.4511476	0.00	0.00	0.00
40	19.29			19.4872568	0.04	0.01	0.00
60	19.03	R2	0.9974	19.5454387	0.26	0.03	0.01
100	19.49	residuales	tendencioso	19.5488893	0.00	0.00	0.00
150	19.98			19.5489002	0.19	0.02	0.01
200	19.18			19.5489002	0.13	0.02	0.01
300	19.79			19.5489002	0.06	0.01	0.00
400	19.98			19.5489002	0.18	0.02	0.01
					0.87	0.1162	0.04

Nota: Elaboración propia a través del software STATISTICA y Excel.

Tabla 27

Datos estadísticos del modelo de segundo orden

<i>pseudo first order</i>							
<i>datos experimentales</i>							
<i>t (minutos)</i>	<i>qt,expe</i>	<i>qe</i>	<i>k</i>	<i>qt,ajustado</i>	<i>diferencia^2</i>	<i>EMR</i>	<i>X2</i>
0	0.00	19.818907	0.03437222	0	0.00	0	0
20	18.48			18.4637123	0.00	0.00	0.00
40	19.29			19.1173229	0.03	0.01	0.00
60	19.03	R2	0.9983	19.3455993	0.10	0.02	0.01
100	19.49	residuales	tendencioso	19.5321834	0.00	0.00	0.00
150	19.98			19.6268317	0.13	0.02	0.01
200	19.18			19.6745006	0.24	0.03	0.01
300	19.79			19.7224017	0.01	0.00	0.00
400	19.98			19.7464398	0.05	0.01	0.00
					0.557	0.0871	0.03

Nota: Elaboración propia a través del software STATISTICA y Excel.

Anexo 03: Panel Fotográfico

Figura 18

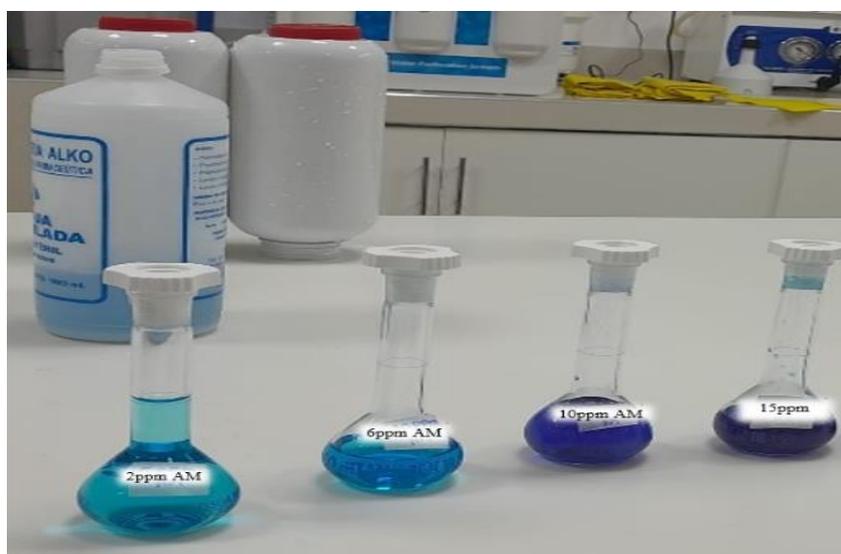
Nostoc sphaericum y *Nanoarcilla* activada.



Nota: Muestra de NC y NA empleada para formular el NC/NA.

Figura 19

Curva de calibración del AM.



Nota: Soluciones de AM a concentraciones (2,6,10 y 15) ppm para realizar la ecuación de la curva de calibración.

Figura 20

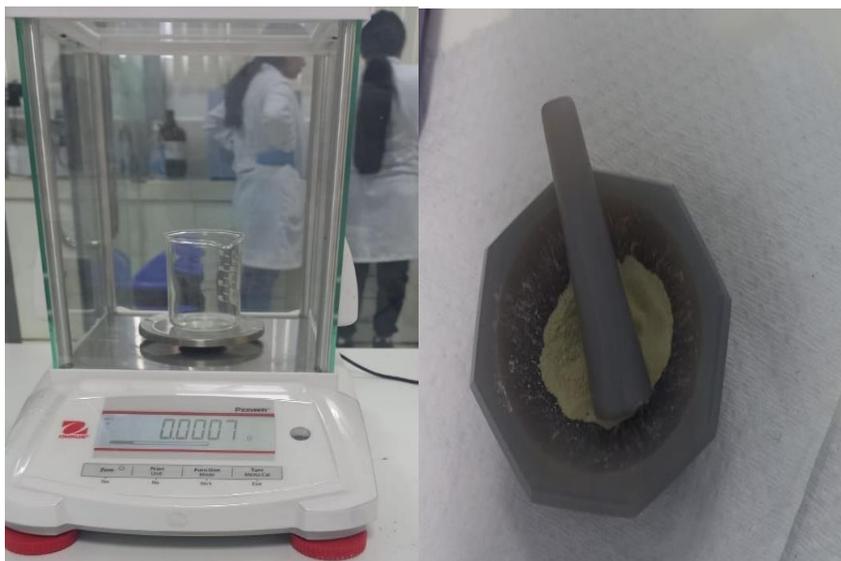
Soluciones para evaluar PCC, potencial ζ (Zeta) y tamaño de partícula.



Nota: Preparación de soluciones del NC/NA a diferentes concentraciones y pH.

Figura 21

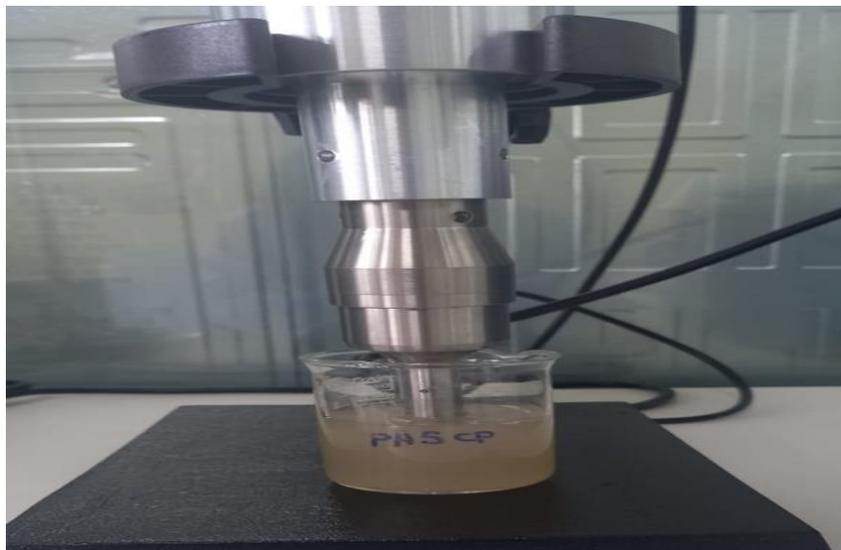
Formulación del NC/NA.



Nota: Pesaje y mezclado del *Nostoc sphaericum* y Nanoarcilla activada.

Figura 22

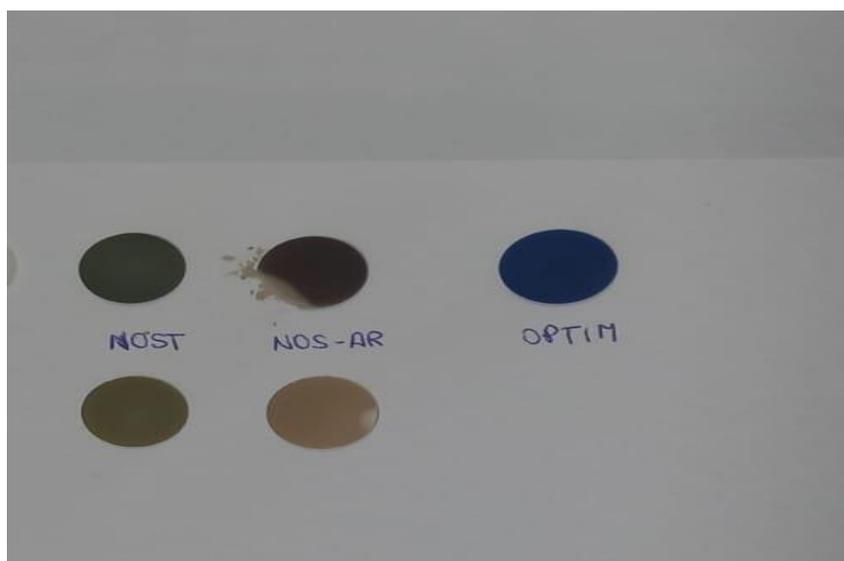
Sonicación de la solución de NC/NA.



Nota: Sonicado durante 5 minutos las soluciones para evaluar el potencial ζ y tamaño de partícula del NC/NA.

Figura 23

Muestras para el análisis FTIR



Nota: Pellets de KBr de nanoarcilla, *Nostoc sphaericum*, NC/NA y del tratamiento óptimo.

Figura 24

Preparación de la solución acuosa de AM



Nota: preparando la solución acuosa de AM a pH (5,6 y 8) para aplicar el NC/NA a (20, 30 y 50) ppm de concentración.

Figura 25

Solución de AM a 10 ppm



Nota: Solución de AM para la primera corrida.

Figura 26

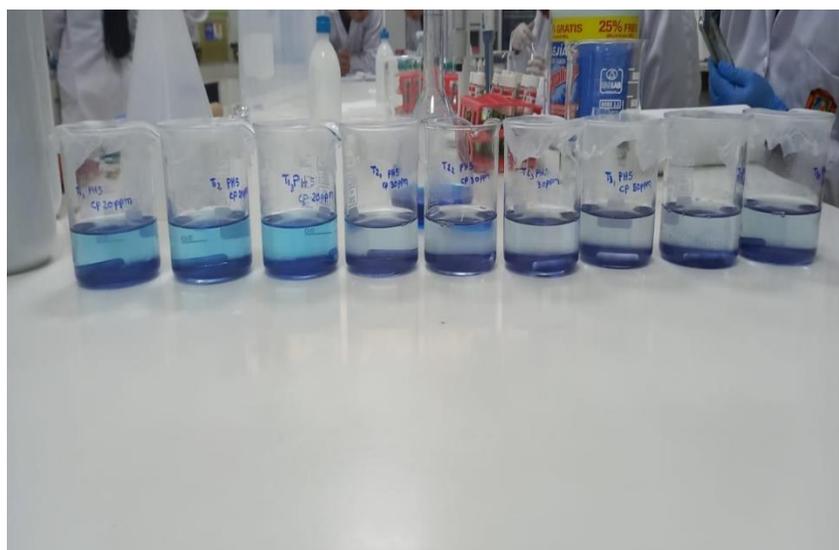
Tratamientos en el agitador magnético



Nota: Tratamientos a 60 RPM, temperatura ambiente durante 60 minutos.

Figura 27

Resultados del tratamiento de AM



Nota: Tratamientos posteriores a las 24 horas.

Figura 28

Resultados de la remoción de AM



Nota: Lectura de los resultados finales del tratamiento de AM en el Espectrofotómetro UV-vis.

Figura 29

Tratamientos optimizados



Nota: Tratamientos condicionados a las variables optimizadas luego de 60 minutos en los agitadores magnéticos.

Figura 30

Lectura de tratamientos optimizados



Nota: Lectura de los tratamientos optimizados y filtrados.

Figura 31

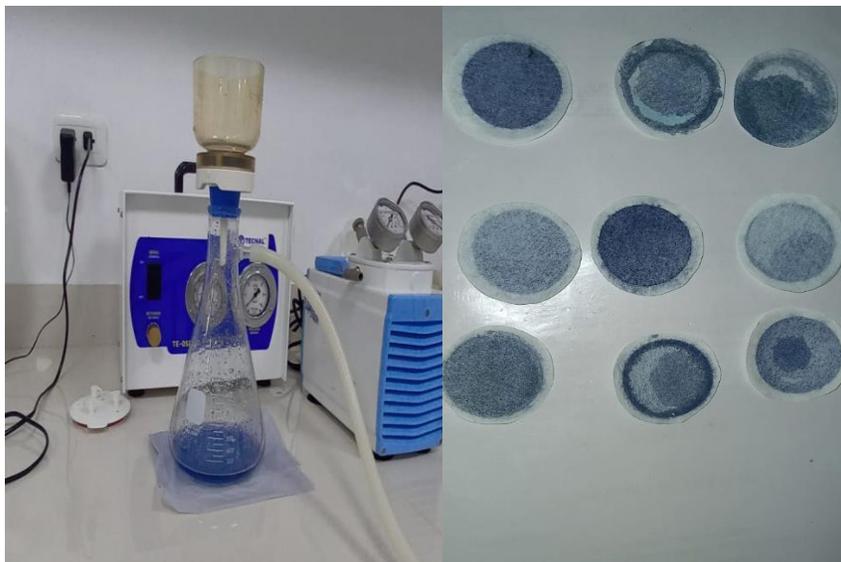
Tratamientos de cinética de adsorción



Nota: Tratamientos a 60 RPM, temperatura ambiente durante 60 minutos.

Figura 32

Filtración para cinética de adsorción y los tratamientos óptimos



Nota: Filtración de las muestras de optimización y cinética de adsorción.

Figura 33

Muestras de AM tratada para evaluar la cinética



Nota: Muestras filtradas de cinética a 0, 20, 40, 60, 100, 150, 200, 300 y 400 minutos de contacto.

Anexo 04: Instrumento de Recolección de Datos

En la recolección de datos se utilizarán los siguientes cuadros para la absorbancia y el porcentaje de remoción de AM a diferentes concentraciones y pH.

Cuadro de Registro de Datos

Tratamientos	Factor 1: pH	Factor 2: Concentración del copolímero (ppm)	Respuesta	
			Absorbancia	% de Remoción
T₁	pH ₁	C ₁		
	pH ₁	C ₁		
	pH ₁	C ₁		
T₂	pH ₁	C ₂		
	pH ₁	C ₂		
	pH ₁	C ₂		
T₃	pH ₁	C ₃		
	pH ₁	C ₃		
	pH ₁	C ₃		

Nota. Elaboración Propia

pH₁ 5,0

Concentración 1: 20 ppm

Concentración 2: 30 ppm

Concentración 3: 50 ppm

Cuadro de Registro de Datos

Tratamientos	Factor 1: pH	Factor 2: Concentración del copolímero (ppm)	Respuesta	
			Absorbancia	% de Remoción
T4	pH ₂	C ₁		
	pH ₂	C ₁		
	pH ₂	C ₁		
T5	pH ₂	C ₂		
	pH ₂	C ₂		
	pH ₂	C ₂		
T6	pH ₂	C ₃		
	pH ₂	C ₃		
	pH ₂	C ₃		

Nota. Elaboración Propia

pH₂ 6,0

Concentración 1: 20 ppm

Concentración 2: 30 ppm

Concentración 3: 50 ppm

Cuadro de Registro de Datos

Tratamientos	Factor 1: pH	Factor 2: Concentración del copolímero (mg/L)	Respuesta	
			Absorbancia	% de Remoción
T7	pH ₃	C ₁		
	pH ₃	C ₁		
	pH ₃	C ₁		
T8	pH ₃	C ₂		
	pH ₃	C ₂		
	pH ₃	C ₂		
T9	pH ₃	C ₃		
	pH ₃	C ₃		
	pH ₃	C ₃		

Nota. Elaboración Propia

pH₃ 8,0

Concentración 1: 20 ppm

Concentración 2: 30 ppm

Concentración 3: 50 ppm

Tabla para registrar datos de la muestra con mejor respuesta para optimizar y registrar los datos de la cinética de adsorción.

Cuadro de Registro de Datos

Muestra que presenta mejor respuesta	Optimización del Proceso	Cinética de adsorción	
M _x		Modelo de Primer orden	
		Modelo de Segundo orden	

Nota. Elaboración Propia

ANEXO 05: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO****1. DATOS GENERALES**

1.1. Título del trabajo: Efecto del pH y la concentración de copolímero *Nostoc sphaericum* Atomizado y nanoarcilla en la remoción de azul de metileno en solución acuosa.

1.2. Investigador(es): Noemi Melisa Ccasa Barboza

2. DATOS DEL VALIDADOR Y/O EXPERTO:

2.1. Nombres y Apellidos: María del Carmen Delgado Laime

2.2. Grado Académico: Doctor

2.3. Lugar y fecha: 28/02/2023

2.4. Cargo e institución donde labora: Docente nombrado en la Universidad Nacional José María Arguedas, categoría principal a TC.

COMPONENTE	INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20 %	Regular 21-40 %	Bueno 41-60 %	Muy bueno 61-80 %	Excelente 81-100%
Forma	1. REDACCIÓN	Los indicadores e items están redactados considerando los elementos necesarios.			X		
	2. CLARIDAD	Se formula con un lenguaje apropiado.			X		
	3. OBJETIVIDAD	Se observa en conducta observable.			X		
Contenido	4. ACTUALIDAD	Se adecua al avance de la ciencia y tecnología.			X		
	5. SUFICIENCIA	Los items son adecuados en cantidad y claridad.			X		
	6. INTENCIONALIDAD	El instrumento mide pertinentemente las variables de investigación.				X	
Estructura	7. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				X	
	8. CONSISTENCIA	Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación educativa.				X	
	9. COHERENCIA	Existe coherencia entre los items, indicadores, dimensiones y variables				X	
	10. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				X	

3. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

Deficiente () Regular () Bueno (X) Muy Bueno () Excelente ()

4. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

60%

5. LUEGO DE REVISARLO EL INSTRUMENTO:

Procede su aplicación (X) Debe corregirse () No procede su aplicación ()



Firma y post firma del experto María del Carmen Delgado Laime
DNI: 23863319
Número de Celular: 999004534
E-mail: mcdelgado@unajma.edu.pe



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL DE LA UNAJMA**

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de José María Arguedas, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 0203-2021 que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de José María Arguedas.

1. DATOS DEL AUTOR:

Nombres y Apellidos: Bach. Noemí Melisa Ccasa Barboza

DNI / Carnet de Extranjería: 75850870

Pasaporte N°:

Correo Institucional: 1001320181@unajma.edu.pe

Teléfono/Celular: 963980084

Correo Electrónico: nccasabarboza@gmail.com

2. GRADO, TÍTULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magíster	Doctor	Segunda Especialidad
X				

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

Tesis	Trabajo Académico	Trabajo de investigación	Trabajo de Suficiencia profesional
X			



4. DATOS DE LA PUBLICACION:

**Título: “EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE COPOLÍMERO
Nostoc sphaericum ATOMIZADO Y NANOARCILLA EN LA REMOCIÓN
DE AZUL DE METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA”**

Fecha de Publicación:

5. DATOS DEL ASESOR:

Nombres y Apellidos: Dr. David Choque Quispe

DNI/Pasaporte/Cédula: 25003361

ORCID: 0000-0003-4002-7526

Firma

DOCUMENTO DE IDENTIDAD: 75850870

NOMBRES Y APELLIDOS: Bach. Noemì Melisa Ccasa Barboza



LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAJMA.

Con la autorización de depósito de mi trabajo de investigación otorgo a la Universidad Nacional de José María Arguedas, una Licencia No Exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAJMA, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la Universidad Nacional de José María Arguedas, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Nacional de José María Arguedas consignará el nombre del/los autores/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) SI autorizo que se deposite inmediatamente.

() No autorizo.

Fecha: 17/09/2024

Firma

Documento de identidad: 75850870

Nombres y apellidos: Noemí Melisa Ccasa Barboza

