

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARIA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



Presentado por:

BR. RUTH KARINA HERBAS DE LA CRUZ

**“EFECTO DE LA DOSIS Y PH EN LA CAPACIDAD FLOCULANTE DEL HIDROCOLOIDE EXTRAÍDO DE UN ALGA ALTOANDINA (*Nostoc Sphaericum*) EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ARTIFICIAL”**

Asesor:

DR. DAVID CHOQUE QUISPE

Co - Asesor:

DRA. YUDITH CHOQUE QUISPE

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

**ANDAHUAYLAS – APURIMAC – PERÚ**  
2023

FINANCIADO POR EL VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNAJMA



## APROBACION DEL ASESOR

Quién suscribe:

Ing. David Choque Quispe por la presente:

### **CERTIFICA,**

Que, el Bachiller en Ingeniería Ambiental, RUTH KARINA HERBAS DE LA CRUZ ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "EFECTO DE LA DOSIS Y PH EN LA CAPACIDAD FLOCULANTE DEL HIDROCOLOIDE EXTRAÍDO DE UN ALGA ALTOANDINA (*Nostoc Sphaericum*) EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ARTIFICIAL" para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Andahuaylas, 26 de junio del 2023.

---

Ing. David Choque Quispe  
**Asesor**

---

Br. Ruth Karina Herbas De La Cruz  
**Tesista**



## APROBACION DEL CO-ASESOR

Quién suscribe:  
Ing. Yudith Choque Quispe por la presente:

**CERTIFICA,**  
Que, el Bachiller en Ingeniería Ambiental, RUTH KARINA HERBAS DE LA CRUZ ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "EFECTO DE LA DOSIS Y PH EN LA CAPACIDAD FLOCULANTE DEL HIDROCOLOIDE EXTRAÍDO DE UN ALGA ALTOANDINA (*Nostoc Sphaericum*) EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ARTIFICIAL" para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Andahuaylas, 26 de junio del 2023.

---

Ing. Yudith Choque Quispe  
**Co-Asesor**

---

Br. Ruth Karina Herbas De La Cruz  
**Tesista**



## FACULTAD DE INGENIERIA

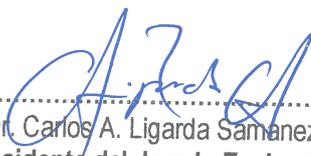
### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 08:00 horas del día 20 de junio del año 2023, se reunieron los docentes: Dr. Carlos A. Ligarda Samanez, Mg. Odilón Correa Cuba, Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EFECTO DE LA DOSIS Y PH EN LA CAPACIDAD FLOCULANTE DEL HIDROCOLOIDE EXTRAÍDO DE UN ALGA ALTOANDINA (Nostoc Sphaericum) EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ARTIFICIAL", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Ambiental **RUTH KARINA HERBAS DE LA CRUZ**, el asesor Dr. David Choque Quispe y la coasesora Dra. Yudith 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 al Bachiller en Ingeniería Ambiental **RUTH KARINA HERBAS DE LA CRUZ**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
19	Diecinueve	Excelente

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

  
.....  
Dr. Carlos A. Ligarda Samanez  
Presidente del Jurado Evaluador

  
.....  
Mg. Odilón Correa Cuba  
Primer Miembro del Jurado Evaluador

  
.....  
Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco  
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



## APROBACION DEL JURADO DICTAMINADOR

La tesis: “EFECTO DE LA DOSIS Y PH EN LA CAPACIDAD FLOCULANTE DEL HIDROCOLOIDE EXTRAIDO DE UN ALGA ALTOANDINA (*Nostoc Sphaericum*) EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ARTIFICIAL”; para optar el TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL, ha sido evaluado por el Jurado Dictaminador conformado por:

PRESIDENTE: Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez.

PRIMER MIEMBRO: Mg. Odilon Correa Cuba.

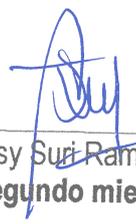
SEGUNDO MIEMBRO: Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco.

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 20 del mes de junio de 2023.

Andahuaylas, 26 de junio de 2023

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
**Presidente de Jurado**

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Odilon Correa Cuba  
**Primer miembro**

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco  
**Segundo miembro**



Andahuaylas, 12 de setiembre de 2023

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

## Constancia

De porcentaje de similitud (07%) según el software Turnitin, al informe final de investigación: Efecto de la dosis y PH en la capacidad floculante del hidrocoloide extraído de un alga altoandina (*Nostoc sphaericum*) en el tratamiento de agua residual artificial. Presentado por la Bach. Ruth Karina Herbas De La Cruz cuyo Asesor es la Dr. David Choque Quispe y Co-asesor Dra. Yudith Choque Quispe.

Dra. María del Carmen Delgado Laime  
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

NOMBRE DEL TRABAJO

**Efecto de la dosis y pH en la capacidad fi  
oculante**

AUTOR

**Ruth Karina Herbas de la Cruz**

RECuento DE PALABRAS

**17744 Words**

RECuento DE CARACTERES

**96609 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**75 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 23, 2023 10:24 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 23, 2023 10:25 AM GMT-5**

● **7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Material citado

  
Msc. David Choque Quispe  
C.I.P. N° 75470

  
Judith Choque Quispe

  
Ruth Karina Herbas De la Cruz  
71614673

● 7% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	<b>hdl.handle.net</b> Internet	1%
2	<b>secgen.unajma.edu.pe</b> Internet	<1%
3	<b>scribd.com</b> Internet	<1%
4	<b>repositorio.unh.edu.pe</b> Internet	<1%
5	<b>repository.lasalle.edu.co</b> Internet	<1%
6	<b>revistas.unitru.edu.pe</b> Internet	<1%
7	<b>Ruiz Priego Francisco David. "Modelo y manual de operación para la pr...</b> Publication	<1%
8	<b>1library.co</b> Internet	<1%
9	<b>mapageweb.umontreal.ca</b> Internet	<1%



Ruth Kojina Herbas De La Cruz  
71614673

Descripción general de fuentes

10	<b>issuu.com</b> Internet	<1%
11	<b>repositorio.uigv.edu.pe</b> Internet	<1%
12	<b>repositorio.unasam.edu.pe</b> Internet	<1%
13	<b>Díaz Ignacio Griselda. "Experimentación de la adsorción de un coque p...</b> Publication	<1%
14	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Internet	<1%
15	<b>es.scribd.com</b> Internet	<1%
16	<b>repositorio.uap.edu.pe</b> Internet	<1%
17	<b>dspace.ups.edu.ec</b> Internet	<1%
18	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Internet	<1%
19	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Internet	<1%
20	<b>coursehero.com</b> Internet	<1%



Ruth Karina Herbas De la Cruz  
71614673

## **DEDICATORIA**

*La presente tesis se la dedico a Dios por guiarme por el buen camino y darme fuerzas para seguir adelante, a mis padres Juan y Ayde, quienes siempre fueron mi motivación para concluir mi carrera profesional.*

*A mis hermanos Estefany y Jhon por su apoyo incondicional en los malos y buenos momentos. A mi sobrina, por ser una alegría constante en mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien llena de bendiciones y alegría mi vida.

A mis padres, por hacer un enorme sacrificio y apoyarme en culminar mi carrera profesional y ser el soporte de todo este recorrido.

A la Universidad Nacional José María Arguedas, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, a sus docentes, quienes con su enseñanza hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

Al Laboratorio de Investigación en Materiales Avanzados para el Tratamiento de Aguas y Alimentos (LIMTA) y Laboratorio Investigación en Nanotecnología en Alimentos (LINA) por abrirme sus puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de sus instalaciones.

A la Ing. Elibet Moscoso Moscoso e Ing. Diego Elio Peralta Guevarra por brindarme su apoyo en el manejo de los equipos de laboratorio y darme todas las facilidades para realizar el presente trabajo.

Al Dr. David Choque Quispe y Dra. Yudith Choque quispe, principales colaboradores en todo este proceso, quienes con su dirección, conocimiento y enseñanza como investigadores permitieron el desarrollo del presente trabajo.

A los miembros del jurado Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez, MSc. Betsy Suri Ramos Pacheco y Mg. Odilon Correa Cuba, por las sugerencias y aportes para la mejora del presente trabajo.

A mis compañeros de estudio Leslie, Denis, Melissa, Liliana, Briggit y Fernando por darme ánimos a seguir y con los que pude contar moralmente.

A la Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional José María Arguedas por el apoyo económico parcial, para el desarrollo del presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CHUMASQA .....	3
I. INTRODUCCIÓN.....	4
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	6
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	6
1.2. Formulación del problema .....	7
1.2.1. Problema general .....	7
1.2.2. Problemas específicos.....	7
1.3. Objetivos de la investigación.....	7
1.3.1. Objetivo general .....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Hipótesis de la investigación.....	8
1.4.1. Hipótesis general.....	8
1.4.2. Hipótesis específicas .....	8
1.5. Justificación .....	8
CAPITULO II: ANTECEDENTES .....	10
2.1. Antecedentes internacionales .....	10
2.2. Antecedentes nacionales .....	11
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO.....	14
3.1. Agua .....	14
3.1.1. Características del agua .....	14
3.2. Agua residual .....	15
3.2.1. Clasificación de las aguas residuales.....	15
3.2.2. Procesos para el tratamiento de aguas residuales .....	16
3.3. Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales .....	16
3.3.1. Coagulación .....	17
3.3.2. Floculación.....	17
3.3.3. Mecanismo de la coagulación.....	17
3.3.4. Tipos de coagulantes.....	18
3.3.5. Factores que influyen en el proceso de coagulación.....	21
3.3.6. Prueba de Jarras .....	22

3.4. <i>Nostoc</i> .....	22
3.4.1. Taxonomía del <i>Nostoc</i> .....	23
3.4.2. Hábitat y capacidad de supervivencia .....	23
3.4.3. Usos y aplicaciones del <i>Nostoc</i> .....	24
3.4.4. Hidrocoloide .....	24
3.5. Definiciones .....	25
CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	26
4.1. Tipo y nivel de investigación .....	26
4.2. Diseño de investigación .....	26
4.2.1. Variables de estudio.....	26
4.2.2. Esquema del diseño experimental .....	27
4.3. Operacionalización de las variables .....	28
4.4. Material de estudio .....	29
4.4.1. Población.....	29
4.4.2. Muestra .....	29
4.4.3. Muestreo .....	29
4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	29
4.5.1. Metodología experimental .....	29
4.5.2. Métodos de análisis .....	31
4.6. Procesamiento y análisis de datos .....	35
4.6.1. Análisis estadístico.....	35
CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	37
5.1. Caracterización de los grupos funcionales del hidrocoloide .....	37
5.2. Punto de Carga Cero (PCC) .....	38
5.3. Potencial $\zeta$ y tamaño de partícula .....	39
5.4. Parámetros físicos y químicos del agua residual tratada .....	43
5.5. Remoción de sólidos presentes en el agua residual artificial .....	46
5.6. Correlación de Pearson .....	47
CONCLUSIONES .....	49
RECOMENDACIONES .....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXOS.....	59

**INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los polielectrolitos.....	19
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía del Nostoc.....	23
<b>Tabla 3.</b> Composición nutricional del Nostoc.....	24
<b>Tabla 4.</b> Matriz de diseño experimental.....	26
<b>Tabla 5.</b> Operacionalización de variables.....	28
<b>Tabla 6.</b> Materiales.....	29
<b>Tabla 7.</b> Equipos e instrumentos.....	30
<b>Tabla 8.</b> Reactivos.....	30
<b>Tabla 9.</b> Composición del agua residual artificial para 1 L.....	31
<b>Tabla 10.</b> Coeficientes de correlación de Pearson.....	36
<b>Tabla 11.</b> Asignación de grupos funcionales FTIR del HN.....	38
<b>Tabla 12.</b> Potencial $\zeta$ de cada tratamiento del coagulante HN/SA.....	41
<b>Tabla 13.</b> Tamaño de partícula de cada tratamiento del coagulante HN/SA.....	43
<b>Tabla 14.</b> Parámetros físicos del agua residual artificial.....	44
<b>Tabla 15.</b> Contenido de DBO <sub>5</sub> y DQO del agua residual artificial.....	45
<b>Tabla 16.</b> Contenido de COT del agua residual artificial.....	46
<b>Tabla 17.</b> Sólidos presentes en el agua residual artificial.....	47
<b>Tabla 18.</b> Matriz correlacional de los parámetros analizados.....	48

**INDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Diagrama general del tratamiento fisicoquímico.....	17
<b>Figura 2.</b> Neutralización de coloides .....	20
<b>Figura 3.</b> Esquema de diseño experimental.....	27
<b>Figura 4.</b> Espectrograma del HN.....	38
<b>Figura 5.</b> Punto de Carga Cero HN .....	39
<b>Figura 6.</b> Gráfica de efectos principales para potencial $\zeta$ del coagulante HN/SA .....	40
<b>Figura 7.</b> Gráfica de efectos principales para el tamaño de partícula del coagulante HN/SA ....	42

**ABREVIATURAS**

HN	: Hidrocoloide Nostoc
SA	: Sulfato de Aluminio
HN/SA	: Hidrocoloide Nostoc/Sulfato de Aluminio
PCC	: Punto de Carga Cero
FTIR	: Espectrofotometría por Transformada de Fourier
DQO	: Demanda Química de Oxígeno
DBO <sub>5</sub>	: Demanda Bioquímica de Oxígeno
COT	: Carbono Orgánico Total
SST	: Sólidos Suspendedos Totales
SDT	: Sólidos Disueltos Totales
pH	: Potencial de Hidrógeno
ANOVA	: Análisis de Varianza
V/cm	: Voltio por centímetro
mL	: Miligramos
mg/L	: Miligramos por litro
μl	: Microlitros
g	: Gramos
rpm	: Revoluciones por minuto
nm	: Nanómetro
mV	: Milivoltio

## RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, conlleva a una serie de procedimientos para la remoción de contaminantes como el proceso de coagulación-floculación, siendo el uso de productos químicos una desventaja. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la dosis y pH en la capacidad floculante del hidrocoloide extraído de un alga altoandina (*Nostoc Sphaericum*) en el tratamiento de agua residual artificial. Se identificó los grupos funcionales del hidrocoloide a través de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), asimismo, se determinó el Punto de Carga Cero (PCC), potencial  $\zeta$  y tamaño de partícula. Por otra parte, se realizó pruebas para simular el proceso coagulación-floculación aplicando dosis del coagulante hidrocoloide *Nostoc Sphaericum*/Sulfato de Aluminio (HN/SA) y evaluar el porcentaje de remoción, así como los parámetros físicos y químicos del agua residual artificial. Se aplicó un diseño factorial  $2^2$  y se evaluaron los efectos a través de un ANOVA a un nivel de significancia del 5%. Los resultados demostraron que el hidrocoloide *Nostoc Sphaericum* (HN) presentó grupos funcionales característicos de polisacáridos, PCC de 7.67 y potencial  $\zeta$  de mayor estabilidad en medio alcalino. Se observó mayor remoción en medio ácido para la turbiedad 51.47%, color 73.96%, DQO 95.41%, COT 46.67% y SDT 20.45%, lo que indica la buena capacidad floculante. El  $\text{DBO}_5$  fue 22.73% y SST 65.98% en medio alcalino. La correlación indicó que la materia orgánica presente en el agua residual artificial, generó efectos significativos en la capacidad floculante del hidrocoloide, dado que, el agua residual artificial fue altamente biodegradable. Se concluye que el HN, presentó buena remoción de contaminantes en el tratamiento de agua residual artificial, siendo el pH la variable con más influencia.

**Palabras clave:** Hidrocoloide, estabilidad, agua residual artificial, coagulación-floculación.

## ABSTRACT

The treatment of domestic wastewater involves a series of procedures for the removal of pollutants such as the coagulation-flocculation process, being the use of chemical products a disadvantage. The objective of the present investigation was to evaluate the effect of dosage and pH on the flocculant capacity of hydrocolloid extracted from a high Andean algae (*Nostoc Sphaericum*) in the treatment of artificial wastewater. The functional groups of the hydrocolloid were identified through Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and the point of zero charge (PCC), potential  $\zeta$  and particle size were determined. On the other hand, tests were carried out to simulate the coagulation-flocculation process by applying doses of the hydrocolloid coagulant *Nostoc Sphaericum*/Aluminum Sulfate (HN/SA) and to evaluate the percentage of removal, as well as the physical and chemical parameters of the artificial wastewater. A  $2^2$  factorial design was applied and the effects were evaluated through an ANOVA at a significance level of 5%. The results showed that the hydrocolloid *Nostoc Sphaericum* (HN) presented functional groups characteristic of polysaccharides, PCC of 7.67 and potential  $\zeta$  of higher stability in alkaline medium. Higher removal in acid medium was observed for turbidity 51.47%, color 73.96%, COD 95.41%, TOC 46.67% and TDS 20.45%, indicating good flocculant capacity BOD<sub>5</sub> was 22.73% and TSS 65.98% in alkaline medium. The correlation indicated that the organic matter present in the artificial wastewater generated significant effects on the flocculant capacity of the hydrocolloid, since the artificial wastewater was highly biodegradable. It is concluded that the HN presented good pollutant removal in the treatment of artificial wastewater, with pH being the most influential variable.

**Keywords:** Hydrocolloid, stability, artificial wastewater, coagulation-flocculation.

## CHUMASQA

Wasipi qhilli yakukunata chuyanchanapaqqa imaymana contaminantes nisqakunata hurqunapaqmi ruwakun, ahinataq proceso de coagulación-floculación nisqa, chaynapi mana químicos nisqawan llamkanankupaq. Kay maskaypa munayninqa karqan chaninchaymi dosispa, pH nisqapa ruwayninta, hidrocoloide nisqapa capacidad floculante nisqapi, hatun alga andina (*Nostoc Sphaericum*) nisqamanta hurqusqa, yaku artificial chuyanchaypi. Chay hidrocoloide nisqapa llamkaq huñunkunam riqsichisqa karqa espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) nisqawan, chaymantam Punto de Carga Cero (PCC),  $\zeta$  potencial hinaspa partícula nisqapa sayayninpas tarikurqa. Huhnpiqa, pruebakunam ruwakurqa chay proceso de coagulación-floculación nisqa simulasqa kananpaq, chaypaqmi churarqaku dosis de coagulante hidrocoloide *Nostoc Sphaericum*/Aluminum Sulfato (HN/SA) nisqawan, chaynallataqmi chanincharqaku chay porcentaje de remoción nisqatapas chaynallataq parámetros físicoquímicos nisqatapas chay material artificial nisqamanta, puchuqmi yaku. Huk diseño  $2^2$  factores nisqawanmi churasqa karqan chaymanta efectos nisqakuna chaninchasqa karqan ANOVA nisqawan 5% nivel de significación nisqawan. Chay ruwasqakunam qawarichirqa hidrocoloide *Nostoc Sphaericum* (HN) nisqa polisacáridos nisqapa características nisqa qutukuna funcionales nisqakunata qawachisqanmanta, PCC 7.67 nisqamanta chaymanta  $\zeta$  potencial nisqa aswan estabilidad nisqapaq medio alcalino nisqapi. Aswan hatun hurquyqa qawarisqam medio ácido nisqapi turbidez nisqa 51.47%, color 73.96%, COD 95.41%, TOC 46.67% chaymanta TDS 20.45%, chaymi qawarichin allin capacidad floculante nisqa. BOD<sub>5</sub> 22.73% y TSS 65.98% medio alcalino nisqapi. Chay correlacin nisqahmi qawarichikun chay materia orgánica nisqa chay residuales yaku artificiales nisqapi kasqanmanta, chay hidrocoloide nisqapa capacidad floculante nisqapiqa hatun efectos nisqakunatam paqarichirqa, chay artificial nisqa qhilli yakuqa ancha biodegradables nisqa kasqanrayku. Tukuchikunmi chay HN, allinta qawarichikun contaminantes nisqakuna chutarikuyninta chay tratamiento de aguas residuales artificiales nisqapi, chaymi pH nisqa variable aswan achka influenciayuq.

**Sapaq simikuna:** Hidrocoloide, estabilidad, qhilli yaku artificial, coagulación-floculación.

## I. INTRODUCCIÓN

El *Nostoc Sphaericum*, es un alga cianofita que comúnmente se encuentra distribuida en lagunas, lagos, arroyos y zonas húmedas de la región Puna del Perú, está compuesto por polisacáridos entre ellos gomas e hidrocoloides, las cuales, se relacionan con la producción de estabilizadores en suspensión, por lo que, presenta una alta viscosidad intrínseca y buena actividad de emulsificación (Jurado et al., 2014; Shi Gang et al., 2019).

La identificación de las características estructurales del hidrocoloide, implica conocer sus grupos funcionales, estas pueden ser determinadas mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) (Torres et al., 2020). Por otro lado, la carga eléctrica y carga de superficie del hidrocoloide, son establecidas a partir del punto de carga cero y potencial  $\zeta$ , dado que, son factores condicionantes de la estabilidad de las partículas, aglomeración y sedimentación (Nieto et al., 2022).

El tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales, implica diferentes procesos para eliminar contaminantes, entre ellos el proceso de coagulación-floculación permite desestabilizar las partículas coloidales, precipitar y agrupar los sólidos suspendidos permitiendo su extracción a través de la formación de flocs sedimentables (Ihaddaden et al., 2022). Para ello, resulta necesario el uso de coagulantes sintéticos, la cual es analizada mediante la remoción de color, turbiedad, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Carbono Orgánico Total, sólidos en suspensión y Sólidos Totales Disueltos. Del mismo modo, la velocidad, tiempo de agitación y sedimentación son factores que determinan la eficiencia del coagulante (Ibarra et al., 2017).

De manera que, la búsqueda de coagulantes naturales implica el uso de sustancias orgánicas de origen natural para ser aplicadas en el proceso de coagulación-floculación durante el tratamiento de aguas residuales debido a su nula toxicidad y alta biodegradabilidad, siendo una nueva alternativa amigable con el ambiente.

La presente investigación plantea evaluar el efecto de la dosis y pH en la capacidad floculante del hidrocoloide extraído de un alga altoandina (*Nostoc Sphaericum*) en el tratamiento de agua residual artificial. En este sentido, se desarrolló conceptos relacionados al tratamiento fisicoquímico de aguas residuales, asimismo, se determinó el diseño de la investigación, variables de estudio, población y muestra, metodología experimental y

métodos de análisis. En base a ello, se muestra los resultados obtenidos a partir de los tratamientos realizados con sus respectivas discusiones.

Finalmente, se da a conocer las conclusiones, respecto a los objetivos planteados. Del mismo modo, la bibliografía y anexos utilizados en la presente investigación.

## CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

Las aguas residuales presentan impurezas como sólidos suspendidos, partículas coloidales y sustancias disueltas que ocasionan variaciones en las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua, así como también, el desequilibrio de los procesos biogeoquímicos y problemas de salud pública.

Durante el proceso de tratamiento de aguas residuales uno de los pasos fundamentales es la coagulación-floculación, que implica la remoción de partículas coloidales y suspendidas, así como también, la reducción de la turbidez del agua (Ihaddaden et al., 2022). El uso de coagulantes químicos convencionales, presenta desventajas en cuanto al impacto económico y medioambiental.

Debido a ello, se hace necesario la búsqueda de alternativas que incluyan la utilización de coagulantes de origen vegetal, entre otras. Los floculantes de origen natural o también conocidos como biofloculantes vienen a ser polímeros orgánicos, que son apreciados por su alto rendimiento, bajo costo, facilidad de uso, disponibilidad y eficiencia. Representan una opción ecológica para el tratamiento de aguas por su grado de biodegradabilidad.

Por ello, conocer de forma específica la composición química particular y distribución de cargas sobre su superficie, son determinantes de la capacidad de adsorción, asimismo, depende de múltiples factores tales como el pH, dosis, concentración del contaminante, temperatura, tiempo de contacto y velocidad de agitación (Ibarra et al., 2017), del mismo modo el potencial  $\zeta$  y el PCC facilitan la obtención de las condiciones adecuadas para optimizar el proceso de remoción de contaminantes (Nieto et al., 2022).

El *Nostoc Sphaericum* es un alga altoandina que crece en las lagunas, arroyos, manantiales y ambientes acuáticos de la cordillera de los Andes. Está compuesto principalmente por polisacáridos (gomas e hidrocoloides), por lo que se convierte en materia prima como fuente potencial para la producción de estabilizadores de suspensión (Choque et al., 2022), la cual en base a las investigaciones realizadas con anterioridad podría ser usada para la estabilización de los coloides en el proceso de coagulación y floculación.

Es así que este proyecto propone la evaluación del efecto de la dosis y pH en la capacidad floculante del hidrocoloide extraído de un alga altoandina (*Nostoc Sphaericum*) en el tratamiento de agua residual artificial.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el efecto de la dosis y pH en la capacidad floculante del hidrocoloide extraído de un alga altoandina (*Nostoc Sphaericum*) en el tratamiento de agua residual artificial?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuáles serán los grupos funcionales, punto de carga cero, potencial  $\zeta$  y tamaño de partícula del hidrocoloide?

¿Cuál es el efecto de la dosis y pH en los parámetros físicos del agua residual tratada con el hidrocoloide?

¿Cuál es el efecto de la dosis y pH en los parámetros químicos del agua residual tratada con el hidrocoloide?

¿Cuál es el porcentaje de remoción de sólidos al aplicar el hidrocoloide en el tratamiento de agua residual artificial?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la dosis y pH en la capacidad floculante del hidrocoloide extraído de un alga altoandina (*Nostoc Sphaericum*) en el tratamiento de agua residual artificial

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar los grupos funcionales, punto de carga cero, potencial  $\zeta$  y tamaño de partícula del hidrocoloide
- Determinar el efecto de la dosis y pH en los parámetros físicos del agua residual tratada con el hidrocoloide
- Determinar el efecto de la dosis y pH en los parámetros químicos del agua residual tratada con el hidrocoloide

- Determinar el porcentaje de remoción de sólidos al aplicar el hidrocoloide en el tratamiento de agua residual artificial

#### **1.4. Hipótesis de la investigación**

##### **1.4.1. Hipótesis general**

La dosis y el pH aplicado permite conocer la capacidad flocculante del hidrocoloide extraído de un alga altoandina (*Nostoc Sphaericum*) en el tratamiento de agua residual artificial

##### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- El hidrocoloide presenta inestabilidad en medio ácido, además el tamaño de partícula y los grupos funcionales corresponden a polisacáridos
- La adición del hidrocoloide y la variación de pH permite modificar considerablemente los parámetros físicos del agua residual artificial
- La adición del hidrocoloide y la variación de pH permite modificar considerablemente los parámetros químicos del agua residual artificial
- El hidrocoloide presenta un significativo porcentaje de remoción de sólidos en el tratamiento de agua residual artificial

#### **1.5. Justificación**

Las actividades antropogénicas, producen grandes cantidades de aguas residuales, las cuales, requieren de un tratamiento adecuado para evitar alteraciones del ambiente, en este sentido, el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico conlleva un proceso inicial de coagulación-floculación, siendo una desventaja el uso de productos químicos para la remoción de contaminantes.

La presente investigación permitirá realizar el análisis referente a un nuevo material flocculante amigable con el ambiente cuyas características podrían ser eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Se consideró el HN para los análisis debido a los antecedentes científicos de sus características estructurales y propiedades funcionales que no son aprovechadas en su máximo potencial, dado que no produce efectos perjudiciales al ambiente, por su origen natural y bajo costo de obtención. Asimismo, de acuerdo a su hábitat natural de producción,

ya que puede ser encontrada en ecosistemas altoandinos del Perú, tal es el caso del departamento de Apurímac.

El propósito de esta investigación, es evaluar una nueva alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales que tienen la finalidad de dar propuestas de interés ambiental para mejorar el proceso de tratamiento de aguas en general. Se ha visto que actualmente, los coagulantes sintéticos son los más utilizados, pero el análisis de nuevos materiales orgánicos con capacidades floculantes contribuyen al desarrollo tecnológico e investigativo.

## CAPITULO II: ANTECEDENTES

### 2.1. Antecedentes internacionales

Nieto et al., (2022), en su estudio de floculación de relaves a base de arcilla: diferencias de caolín y montmorillonita de sodio en medio salino, tuvo como objetivo analizar los fenómenos involucrados en la etapa de recuperación de agua, tales como la sedimentación de relaves a base de arcilla floculados con polielectrolito aniónico en agua industrial y agua de mar. Para la cual, realizó pruebas por lotes del proceso de floculación – sedimentación, análisis del potencial  $\zeta$  y el punto de carga cero (PCC) para determinar la carga de la superficie y la estabilidad de las partículas en suspensión, dando a conocer que el impacto en el agua depende del tipo de arcilla. Por otro lado, el agua residual industrial que analizó tuvo mayor rendimiento con dosis altas y velocidades de sedimentación rápidas. El tipo de agua, fue un factor determinante de la eficiencia de agregación de partículas primarias, dado que los ensayos en agua industrial generaron una porción de partículas no floculadas. A diferencia del agua de mar, que presentó una fracción perceptible de partículas no floculadas, dando a conocer que los enlaces catiónicos adicionales que ofrece el agua de mar benefician la aglomeración de partículas primarias más finas para todos los tipos de relaves.

Smotraiev et al. (2022), realizaron la comparación de la eficiencia de coagulación de aguas residuales de los coagulantes de zirconio prepolimerizado y aluminio tradicional, con el objetivo de comparar la eficiencia de los coagulantes de circonio prepolimerizados y los coagulantes de aluminio comerciales en la eliminación de la turbidez (TU), sólidos suspendidos totales (TSS) y fosfatos (OP) de aguas residuales sintéticas. La comparación fue realizada mediante análisis de aumento de la basicidad de los coagulantes en el agua residual artificial. De las cuales, los coagulantes de zirconio demostraron una mayor eficiencia en la eliminación de TSS, TU y OP en comparación con los coagulantes de aluminio, mostrando tasas máximas de eliminación de 92.5% y 91.0%, 97.1% y 96.4%, y 97.6% y 93%, respectivamente. Asimismo, el análisis de los datos termodinámicos en el proceso de coagulación determinó que la mayor eficiencia de remoción de OP para los coagulantes de zirconio fue debido a la mayor reactividad de los iones e hidroxocomplejos de zirconio con los iones fosfato a diferencia de los hidroxocomplejos de aluminio, dando a conocer que los coagulantes de zirconio son efectivos para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Song et al., (2022) en su estudio analizaron el efecto del pH sobre las propiedades de coagulación del coagulante *Tenebrio molitor*. El objetivo fue determinar el efecto producido por

el pH en el proceso de coagulación del coagulante *Tenebrio molitor*. Para ello, realizó la extracción de un nuevo coagulante de larvas de *Tenebrio molitor* e investigó la influencia del pH en las propiedades de coagulación del *Tenebrio molitor*. Dando como resultado, que el tiempo de floculación y el valor del oxígeno disuelto (OD) del coagulante variaron de acuerdo al aumento del pH de la coagulación ( $p < 0.05$ ). Asimismo, la capacidad de retención de agua, la turbidez, el tamaño de partícula y el módulo de almacenamiento aumentaron y disminuyeron ( $p < 0.05$ ) alcanzando un valor máximo de pH igual a 5.6, siendo el pH óptimo de coagulación del *Tenebrio molitor*.

López et al. (2014), en su investigación determinó los mecanismos de coagulación-floculación en plantas de tratamiento de aguas residuales en base a la medida del potencial  $\zeta$ , para ello, realizó análisis de las interacciones coagulante-contaminante a nivel molecular, efectuadas durante el proceso de coagulación-floculación, teniendo en cuenta el pH y la dosis del coagulante para determinar la estabilidad de la solución. De las cuales, la medida del potencial  $\zeta$  definió la interacción electrostática entre coagulantes-floculantes-contaminantes, dado que a pH 9 la dosis óptima de coagulante para una eliminación completa de los Sólidos Suspendidos Totales y turbidez del agua fue de 162 mg/L y 67 mg/L de floculante, además, logró una disminución de 45 mg/L de Demanda Química de Oxígeno y Carbono Orgánico Total. Por lo que, demostró que, para elegir una dosis adecuada de coagulante, se debe tener en cuenta el potencial  $\zeta$  y pH, los cuales fueron los factores que definen la interacción electrostática y química entre coagulante-contaminante.

## 2.2. Antecedentes nacionales

Choque et al., (2022), en su investigación, realizaron la caracterización preliminar de un hidrocoloide atomizado de un Alga Altoandina (*Nostoc Sphaericum*), tuvo como objetivo la caracterización preliminar del hidrocoloide atomizado de cuatro ecotipos del alga altoandina *Nostoc Sphaericum*. Para ello, realizaron la recolección de *Nostoc Sphaericum* en las lagunas altoandinas ubicadas en las provincias de Cusco y Andahuaylas. Asimismo, determinó el tamaño de *Nostoc* fresco, hizo un análisis proximal de muestras de *Nostoc*, así como también la deshidratación del *Nostoc* mediante procesos de licuado y secado por atomización. Seguido a ello, determinó el Contenido de Carbono Total, su actividad en el agua y color; Además, realizó la caracterización de su estructura a través del espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). De las cuales, en la caracterización identificó que los ecotipos de *Nostoc* presentaron un alto contenido de proteínas y carbohidratos pertenecientes a los grupos -CO-, -

OH, -COO- y -CH característicos de los polisacáridos que representaron el 40% del Carbono Orgánico Total, lo que estableció valores bajos de actividad en el agua y tamaño de partícula. Asimismo, el resultado atomizado del Nostoc presentó buena estabilidad para su uso como hidrocoloide.

Ramirez (2019), en su estudio, tuvo como objetivo determinar la dosis óptima del coagulante de semillas de *Tamarindus Indica* para mejorar la calidad del agua del Río Reque – Lambayeque, que se encuentra contaminada por diversas fuentes. Para ello, utilizó el método de la prueba de jarras en cuatro muestras, donde aplicó las dosis de *Tamarindus Indica* de 40, 55, 60 y 70 mg para el análisis de eficiencia en los parámetros físicos y químicos de las muestras analizadas. De las cuales, la dosis óptima fue de 60 mg medido a 18 NTU con un porcentaje de remoción de 89.4%, asimismo, el pH varió entre 7.95 y 8.42; en cuanto a la conductividad eléctrica los valores no variaron, obtuvo valores entre 0.787 y 0.801 mS/cm. Por su parte, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentó una reducción significativa de 273 a 86 mg/L a una dosis de 70 mg y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), la cual fue reducida hasta 44.8 mg/L con una dosis de 70 mg, dando a conocer que el coagulante natural de semillas de *Tamarindus Indica* presentó una significativa eficiencia para la remoción de turbidez, DQO y DBO para rangos hasta de 200 NTU.

Hurtado (2019), hizo un estudio sobre polisacáridos del gel de *Aloe vera L.* como floculante en tratamiento de aguas, con el objetivo de clarificar las aguas contaminadas con partículas en suspensión, para ello, utilizó gel de *Aloe vera* como coadyuvante de la floculación utilizando el sistema de coagulación-floculación. Para realizar los experimentos, extrajo el gel de las hojas del Aloe manual y mecánicamente, seguido a ello, realizó el análisis infrarrojo, de las cuales los espectros mostraron picos pronunciados debido a la presencia del grupo -OH a  $3450\text{ cm}^{-1}$  y del grupo carbonilo a  $1620\text{ cm}^{-1}$ , demostrando la presencia de polisacáridos como componentes principales del gel de *Aloe vera*. En cuanto a los análisis de floculación los resultados fueron óptimos debido a que la turbidez del agua residual fue reducida a 67%, además el pH se mantuvo dentro de los estándares internacionales entre 6.5 – 8.5; el tratamiento de floculación se realizó en medio alcalino a un pH de 8 a 11. Para optimizar el tratamiento realizó un diseño factorial 2k, el cual le permitió identificar los valores óptimos de los parámetros a analizar.

Navarro et al. (2005), realizó un estudio sobre el rol del pH en la remoción de iones tóxicos presentes en soluciones acuosas, teniendo como objetivo evaluar diversos biosorbentes con

grupos funcionales activos frente a dos iones metálicos divalentes. Para ello, hizo un análisis desde dos puntos de vista, en el ion metálico y en el biosorbente; De las cuales, sus resultados mostraron los efectos del pH en la química acuosa del catión metálico, la cual fue condicionada por la acidez del catión, de igual modo, los grupos funcionales del adsorbente, debido a la competencia de iones intercambiables y iones con centros activos ionizables. Asimismo, los biosorbentes estudiados, mostraron su preferencia por el ion  $\text{Cd}^{+2}$  frente al ion  $\text{Zn}^{+2}$ , siendo el alga *Lessonia trabeculata*, la que reportó mayor capacidad de adsorción, por lo que, la acidez del catión y los grupos funcionales del adsorbente fueron factores determinantes de la eficiencia del proceso.

## **CAPITULO III: MARCO TEÓRICO**

### **3.1. Agua**

El agua es considerada como el líquido de la vida, es la sustancia más abundante de la biosfera ocupando sus tres cuartas partes, puede ser encontrada en sus tres estados, además, es el componente mayoritario de los seres vivos, representa entre el 65% y el 95%. Posee un extraño comportamiento, la cual lo hace diferente a la mayoría de los líquidos, asimismo, manifiesta propiedades físicas y químicas que son responsables de su importancia biológica (Pomalaza & Victoria, 2016). El agua está conformada por átomos de hidrógeno y oxígeno en una relación de 2:1 ( $H_2O$ ), las probabilidades de encontrarlo en su estado puro son pocas, ya que sufre alteraciones (Caracas & Landazury, 2019).

#### **3.1.1. Características del agua**

La composición física y química del agua es definida por la presencia de sustancias químicas disueltas que pueden ser de origen natural o antropogénico, cualquier cambio en ella es asociada a un riesgo sanitario. Las características de cada fuente permiten su clasificación, su uso y su comparación en cuanto a la calidad que presente (Carrión, 2018).

##### **3.1.1.1. Parámetros físicos del agua**

###### **Turbiedad**

La turbiedad es entendida como la ausencia de transparencia de un líquido, el cual es causado por las partículas en suspensión, del mismo modo, es considerada para medir la calidad del agua, ya que tiene una estrecha relación con la materia coloidal (Rojas & Sastoque, 2007).

###### **Color**

El color del agua es un parámetro íntimamente ligado a la turbiedad, el cual es generado por las sustancias disueltas y los coloides presentes en el agua (Carrión, 2018). Su origen proviene de dos fuentes: de origen natural por descomposición de la materia orgánica, tales como vegetales, ácidos húmicos y fúlvicos, por origen antrópico, ocasionado por residuos industriales y aguas residuales domésticas (Másmela & Aguilar, 2017).

###### **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Representa la materia suspendida en un medio acuoso, se define como la fracción de sólidos retenidos mediante una fibra de vidrio, por la cual, es considerada uno de parámetros utilizados en el tratamiento de aguas y la evaluación de la calidad de agua (Severiche, 2013).

### 3.1.1.2. Parámetros químicos del agua

#### Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es el logaritmo negativo de la actividad del ion hidrógeno en una solución acuosa (Manahan, 2007), juega un papel importante en los procesos de potabilización, coagulación y desinfección por cloro. Generalmente su medida es usada para expresar las condiciones ácidas o alcalinas de una solución, asimismo, es un indicador del grado de acidez de una sustancia.

#### Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la dosis de oxígeno disuelto requerida para la degradación química de la materia orgánica presente, expresada en mg/L O<sub>2</sub>, determina el contenido de materia orgánica presente, por ello, para su determinación se emplea un agente químico oxidante en un medio ácido, el cual será útil para la obtención del equivalente de oxígeno en la materia orgánica (Lozano, 2013).

#### Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Se define como la cantidad de oxígeno disuelto expresado en mg O<sub>2</sub>/L requerido por los microorganismos durante el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica, mide el consumo de oxígeno en una muestra causado en las reacciones de síntesis de nuevos microorganismos, producción de energía y degradación de los microorganismos; el tiempo de incubación son 5 días (Rodríguez, 2006).

#### Carbono Orgánico Total (COT)

Es la cantidad de carbono que contienen los compuestos orgánicos no volátiles, el cual es derivado de la descomposición de las plantas, el crecimiento bacteriano y las actividades metabólicas de los organismos vivos. El COT, es independiente del estado de oxidación de la materia orgánica y mide todos los átomos de carbono unidos covalentemente en moléculas orgánicas (Belén, 2021).

### 3.2. Agua residual

Se considera agua residual aquella cuyas propiedades y calidad han sido alteradas debido a actividades antropogénicas, las cuales necesitan ser tratadas para su reutilización o ser vertidas en las fuentes naturales (OEFA, 2015).

#### 3.2.1. Clasificación de las aguas residuales

- a) **Aguas residuales industriales.** Son aquellas aguas residuales generadas durante un proceso productivo, incluye las aguas provenientes de la actividad minera, agrícola, energética y agroindustrial (UNESCO, 2017).

- b) Agua residual doméstica.** Son aquellas aguas generadas en las residencias y comercios, contienen principalmente desechos fisiológicos, resultante de la actividad antropogénica. Los componentes más comunes son los excrementos humanos, nutrientes y materia orgánica, asimismo, contiene contaminantes emergentes (UNESCO, 2017).
- c) Aguas residuales municipales.** Son aquellas aguas residuales de abastecimiento doméstico, las cuales pueden estar mezcladas con agua de desagüe o aguas residuales industriales previamente tratadas. Presenta una amplia gama de contaminantes, tales como patógenos, nutrientes, materia orgánica, metales pesados y contaminantes emergentes (UNESCO, 2017).

### 3.2.2. Procesos para el tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas consiste en una serie de etapas que dependen de las características y el tipo de agua a tratar, según Chulluncuy (2011) y Hernández et al. (2014) son las siguientes:

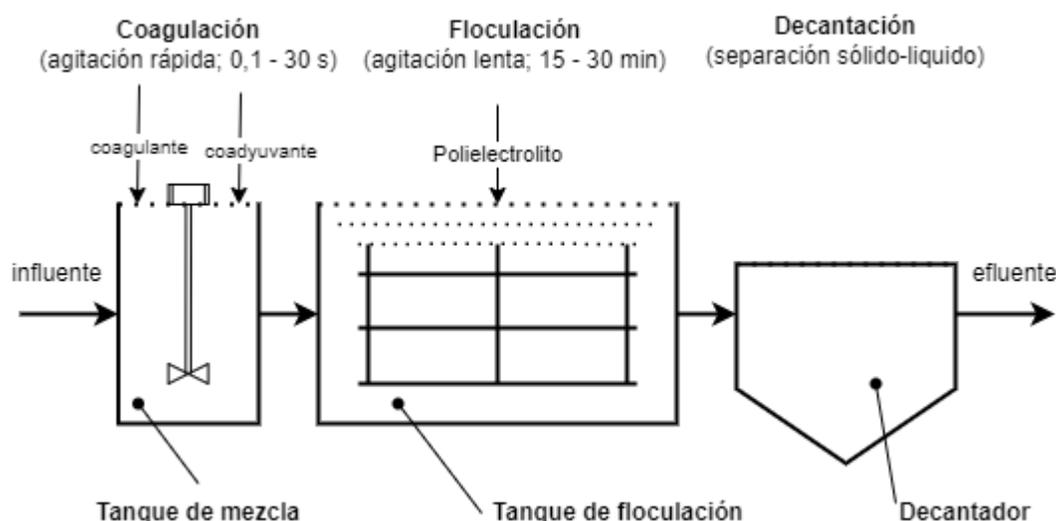
- a) Cribado.** Consiste en retener los sólidos de gran tamaño que vienen en los cuerpos de agua con el uso de rejas o mallas.
- b) Coagulación-floculación.** Etapa más importante de todo el tratamiento, consiste en la desestabilización de las partículas coloidales a través de la adición de sustancias químicas, la cual termina con la floculación y la formación de flóculos.
- c) Sedimentación.** Consiste en la remoción de las partículas suspendidas más densas que el agua, dando como resultado un fluido clarificado y flóculos.
- d) Filtración.** Consiste en la separación de partículas y microorganismos a través de filtros.
- e) Desinfección.** Tratamiento final de todo el proceso, consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos.

### 3.3. Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales

Es el proceso donde se produce la remoción de una gran cantidad de partículas coloidales y suspendidas, debido a la formación de flóculos (Eugenia et al., 2007). Se compone fundamentalmente de tres fases secuenciales (Trapote, 2013), y se representa de acuerdo a la Figura 1.

**Figura 1**

*Diagrama general del tratamiento fisicoquímico.*



Fuente: Trapote (2013)

### 3.3.1. Coagulación

La coagulación es el proceso en el cual los componentes estables de una suspensión son desestabilizados (Terrones, 2019), el objetivo principal de la coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales, dado que no solo elimina la turbiedad del agua, también la materia orgánica y los microorganismos presentes, asimismo, el proceso de desestabilización ocurre al neutralizar las fuerzas de las partículas que los mantienen separados donde el coagulante anula la carga eléctrica de la superficie del coloide permitiendo que se aglomeren y formen los flóculos (Andía, 2000).

### 3.3.2. Floculación

La floculación es el proceso en el cual las partículas ya desestabilizadas son unidas para formar grandes partículas estables o también llamados aglomerados (Aguilar et al., 2002). La floculación es conseguida a partir de una agitación lenta del agua, con la finalidad de que las partículas entren en contacto y de esta manera se adhieran unas a las otras, por ello, a medida que los flóculos se van formando se hacen cada vez más frágiles (Orellana, 2014).

### 3.3.3. Mecanismo de la coagulación

Según Andía (2000), la desestabilización de partículas es obtenida mediante diversos mecanismos fisicoquímicos:

### **A. Compresión de la doble capa**

La aproximación de dos partículas semejantes ocasiona que las capas difusas interactúen y generen una fuerza de repulsión, la cual está en función de la distancia que los separa y desciende de manera rápida con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, solo ocasionado con los iones del coagulante.

### **B. Adsorción y neutralización de cargas**

Los coloides presentan carga negativa en su superficie, las cuales son llamadas cargas primarias que atraen a los iones positivos que se encuentran en la solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide. La desestabilización de coloides y su interacción mutua es condicionado por el potencial  $\zeta$ .

### **C. Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado**

Cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, las partículas coloidales desestabilizadas pueden ser atrapados dentro de un floc, donde la presencia de ciertos aniones y partículas coloidales acelera la formación del precipitado.

#### **3.3.4. Tipos de coagulantes**

Según Samame (2016), los coagulantes pueden clasificarse en dos grupos, polielectrolitos y metálicos que actúan como polímeros pese a la carga eléctrica que poseen. Asimismo, los coagulantes deben contar con las siguientes características (Hernandez, 2001):

- Presentar cargas opuestas al coloide con la finalidad de poder neutralizar las fuerzas electrostáticas; por ello si no se logra resulta necesario adicionar otros compuestos denominados coadyuvantes.
- Presentar alta carga de valencia para asegurar la ruptura rápida de la estabilidad coloidal.
- Ser pesados, para acelerar la precipitación de los flóculos formados.

##### **3.3.4.1. Polielectrolitos**

Un polímero es una sustancia formada por unidades básicas denominadas monómeros, las cuales están unidas por enlaces covalentes que se repiten continuamente. Siendo su grado de polimerización establecido por el número de monómeros que conforman su cadena polimérica. Los monómeros capaces de formar polímeros presentan por lo menos dos núcleos activos, para que pueda conservar su estructura inicial. Si una cadena polimérica tiene múltiples grupos funcionales activos es denominado polielectrolito, un compuesto orgánico sintético que puede generar la adición de sólidos finamente divididos en suspensiones acuosas (Samame, 2016).

## Clasificación de los polielectrolitos

**Tabla 1**

*Clasificación de los polielectrolitos.*

Según su origen	Según su carga	
Polímeros naturales	Iónicos	Cationes Aniones
Polímeros sintéticos	No iónicos	---

Fuente: Arboleda (2000)

### Polímeros naturales

Se caracterizan por no presentar toxicidad y actúan de manera similar a los coagulantes sintéticos, facilitando la aglomeración de las partículas en suspensión presentes en el agua; pueden llegar a tener mejores rendimientos a los origen sintético, además poseen características de biodegradabilidad debido a su origen natural, por ello, son consideradas una buena alternativa para el tratamiento de aguas, dado que, algunos de los coagulantes de origen natural son generalmente almidones y polisacáridos naturales (Hernandez, 2001).

#### 3.3.4.2. Coagulantes metálicos

Los coagulantes metálicos se clasifican en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios; siendo las sales de aluminio más usadas el sulfato de aluminio, sulfato de aluminio amoniacal y cloruro de polialuminio (Romero, 2009).

#### Sales de aluminio

##### - Sulfato de Aluminio

Es el coagulante más usado en el tratamiento de aguas, usualmente tiene la fórmula  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  como producto comercial y es obtenido a partir de la digestión de minerales de bauxita con ácido sulfúrico (Romero, 2009).

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas son disociadas en  $Al^+$  y  $SO_4^{-4}$ . Puesto que el  $Al^{+3}$  puede combinarse con los coloides con cargas negativas para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal.

Asimismo, el  $Al^{+3}$  puede combinarse con el  $OH^*$  presente en el agua para formar hidróxidos de aluminio.



Los hidróxidos de aluminio formados son de carácter coloidal, dado que absorben iones positivos en soluciones para formar uno solo cargado positivamente, el cual neutraliza la carga de los coloides negativos y ayuda a complementar la aglomeración.

## Figura 2

*Neutralización de coloides.*

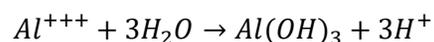
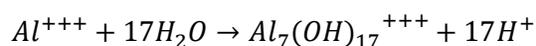
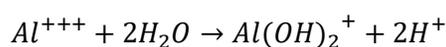
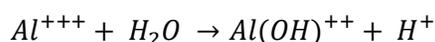


Fuente: Romero (2009)

Durante este proceso, habitualmente se forma un exceso de solución de hidróxido de aluminio, su destrucción y precipitación se logra a través de los iones sulfato y otros iones negativos presentes en el agua.



En referencia a los coagulantes de hierro y aluminio, los cationes metálicos reaccionan al hacer contacto con el agua para formar iones acuimetálicos e hidrógeno, dado que los aniones permanecen libres, por ello, las reacciones que ocurren con el sulfato de aluminio son las siguientes (Romero, 2009):



El sulfato de Aluminio, debe estar distribuido en toda la masa de agua, con la finalidad de lograr el contacto con todas las partículas coloidales; esto se logra mediante una mezcla rápida que provea la distribución del coagulante en el menor tiempo posible. Por ello, durante la floculación la aglomeración de partículas se complementa y los flocs aumentan su tamaño hasta llegar a una condición adecuada para su sedimentación (Romero, 2009).

### 3.3.4.3. Ayudantes de coagulación

Son también conocidos como coadyuvantes, los cuales son agentes auxiliares de coagulación, de origen sintético (polielectrolitos) o natural (alginatos, almidones, etc.) que comúnmente son usadas para optimizar los resultados obtenidos del proceso de coagulación, dado que ayuda a la formación de un floc más fuerte y de fácil sedimentación, asimismo, reducen la cantidad de coagulante requerido, de modo que facilitan la desestabilización de la estructura coloidal, ya que actúa sobre el potencial  $\zeta$  de los coloides ayudando a eliminarlo (Hernandez, 2001).

### 3.3.5. Factores que influyen en el proceso de coagulación

Según Andía (2000), para tener resultados óptimos del proceso de coagulación es necesario tener en cuenta algunos factores, como:

#### pH

Es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, ya que para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación se produce de manera más rápida, dependiendo de la naturaleza de iones y la alcalinidad del agua. Por ello, el rango de pH adecuado depende del tipo de coagulante a utilizar y la naturaleza del agua a tratar, dado que, si no está dentro del pH óptimo, la dosis del coagulante debe ser mayor (Andía, 2000).

#### Temperatura del agua

Las temperaturas elevadas desfavorecen la coagulación, ya que la variación de la temperatura conduce a la formación de corrientes de densidad, las cuales afectan la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta. Por otro lado, la disminución de la temperatura del agua, conlleva a un aumento de su viscosidad, lo cual dificulta la sedimentación de un flóculo (Andía, 2000).

#### Dosis del coagulante

La cantidad de coagulante a utilizar influye significativamente en la eficiencia de la coagulación, de la siguiente manera (Andía, 2000):

- Poca cantidad de coagulante, no neutraliza toda la carga de la partícula, es escaso la formación de microfloculos, de modo que, la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante, produce el cambio de la carga de la partícula que permite la formación de microfloculos con tamaños muy pequeños con velocidades de sedimentación muy bajas, de modo que, la turbiedad residual es elevada.

La dosis adecuada de coagulante, es determinada mediante los ensayos de prueba de jarra.

## **Mezcla**

La agitación de la masa de agua durante la adición del coagulante, es un factor determinante para complementar la coagulación, por ello, la agitación debe ser uniforme, para asegurar que la mezcla del agua con el coagulante sea homogénea y se produzca la reacción química de neutralización de cargas correspondientes (Andía, 2000).

### **3.3.6. Prueba de Jarras**

Consiste en la simulación a escala del proceso de coagulación-floculación y sedimentación, bajo condiciones similares a la operación de una planta de tratamiento; Según Másmela & Aguilar (2017), tiene el propósito de determinar el tipo de coagulantes o coadyuvante, que presente una desestabilización rápida de las partículas coloidales, para que de esta manera permita la formación del flocs pesados para que por efectos de la gravedad sedimenten de manera rápida.

Este método conlleva ajustar el pH, seleccionar el agente coagulante, dosis adecuada, velocidad y tiempo de agitación de las paletas, del mismo modo, el tiempo de sedimentación. La efectividad de procedimiento es analizada mediante los parámetros establecidos por el investigador.

## **3.4. Nostoc**

El *Nostoc* es un alga formada por colonias de cianobacterias de color verde azulado, verde oliva o marrón, el verde proviene de su contenido de clorofila, el azul, de un pigmento denominado Ficocianina que se relaciona con la fotosíntesis. Presenta un aspecto de uvas translúcidas, gelatinosas y esféricas, con diámetro entre 10 a 25 mm, son resistentes a los rayos ultravioleta, lo que favorece su fotosíntesis, asimismo, pueden permanecer deshidratadas hasta que las lluvias las rehidraten (Alvarado & Rodríguez, 2017). Son comúnmente llamadas “cushuro”, “llullucha”, “murmunta”, “crespito”, “jugadores”, “yurupa”, “uvas de los ríos”, “cochayuyo”, etc., (Herrera, 2012).

### 3.4.1. Taxonomía del *Nostoc*

De acuerdo a la clasificación propuesta por Whittaker en 1959, el *Nostoc* presenta la siguiente clasificación, Tabla 2.

**Tabla 2**

*Taxonomía del Nostoc.*

Nombre científico	<i>Nostoc</i> sp.
Dominio	Bacteria
Filo	Cyanobacteria
Clase	Cyanophyceae
Orden	Nostocales
Familia	Nostocaceae
Género	<i>Nostoc</i>
Especie	<i>Nostoc sphaericum</i>
Otras especies	<i>N. Commune</i> , <i>N. Pruniforme</i> , <i>N. Parmeloide</i> , <i>N. Verrucosum</i>

Fuente: National Center for Biotechnology Information (2014).

### 3.4.2. Hábitat y capacidad de supervivencia

El *Nostoc Shapaericum* es un alga que puede ser encontrado en diversos lugares sobre los 3000 m en los andes peruanos, generalmente en temporadas lluviosas y con temperaturas bajo cero; su hábitat común son lugares altos con lagunas de aguas cristalinas ricas en nitrógeno, las cuales favorecen el crecimiento del alga, generalmente crecen en épocas de lluvia y forman colonias gelatinosas que flotan libremente por el borde de los lagos, lagunas y ambientes húmedos (Alvarado & Rodriguez, 2017).

Son especies que se han mantenido desde hace millones de años, dado que su capacidad de supervivencia es única, ya que existe en zonas semidesérticas hasta en glaciares antárticos (Corpus et al., 2021).

### 3.4.3. Usos y aplicaciones del *Nostoc*

#### ***Nostoc* en productos alimenticios**

El *Nostoc*, es usado de manera tradicional como parte de la dieta alimenticia en las localidades altoandinas del Perú, es un alimento rico en carbohidratos, proteínas y calcio.

**Tabla 3**

*Composición nutricional del Nostoc.*

<b>Valor nutricional <i>Nostoc Shapaericum</i>. por cada 100 g de <i>Nostoc Shapaericum</i> deshidratado</b>	
Energía (kcal)	320.5
Proteínas (g)	30
Grasa (g)	0.5
Carbohidratos (g)	50
Agua (g)	15
Calcio (mg)	145
Fósforo (mg)	64
Hierro (mg)	83.6

Fuente: Corpus et al. (2021)

#### ***Nostoc* como estabilizante**

El hidrocoloide extraído del *Nostoc* es usado como aditivo alimentario que actúa como estabilizante, el cual puede sustituir los aditivos sintéticos y mejorar las características organolépticas y aumentar el tiempo de vida útil de algunos productos alimenticios (Corpus et al., 2021).

#### **Aplicación del *Nostoc* en la medicina**

El *Nostoc*, presenta propiedades curativas, de modo que, puede inhibir la formación de colesterol y tumores cancerosos debido a su contenido de nostocarbolina. Asimismo, fortalece el sistema óseo debido al contenido de calcio, además estabiliza el sistema nervioso dado que es rico en vitaminas B1, B2, B5 y B8. Esta alga posee un alto contenido de proteínas, las cuales fortifican los músculos y ayudan en el funcionamiento del corazón y los nervios; contribuye a combatir la anemia y la desnutrición, debido a sus propiedades nutricionales (Corpus et al., 2021).

Por otro lado, Rubio (2018), menciona que el *Nostoc* es utilizado para la fabricación de cosméticos que sirven para eliminar las manchas de la piel.

### 3.4.4. Hidrocoloide

Sustancia natural polimérica soluble en agua, presenta una gran cantidad de grupos hidroxilo, por la cual son moléculas altamente hidrofílicas, asimismo, están compuestos principalmente de polisacáridos de origen vegetal o microbiano y pueden ser dispersadas en agua fría o caliente (Yaseen et al., 2005).

Las características del hidrocoloide radican en sus propiedades gelificantes, espesantes, emulsionantes, estabilizantes y organolépticas, las cuales definen su aplicación (Ponce, 2014).

### 3.5. Definiciones

- **Agua tratada.** Aquella agua que ha variado sus características físicas, químicas y biológicas con el propósito de ser utilizada en algún uso benéfico (Andía, 2000).
- **Flóculos.** Coágulos de materia orgánica formada por agregación de sólidos en suspensión (Carrión, 2018).
- **Coloide.** Partículas suspendidas en una solución de tamaño entre 1 y 1000  $\mu\text{m}$  de diámetro, principales responsables de la turbiedad del agua; su comportamiento depende de su origen (Carrión, 2018).
- **Sedimentación.** Proceso de remoción que por efectos de gravedad las partículas suspendidas presentan un peso específico mayor que el agua (Aguilar et al., 2002).
- **Coagulante natural.** Coagulantes derivados de productos orgánicos, se encuentran en almidones o polisacáridos naturales como la celulosa (Rubio, 2018).
- **Nostoc.** Clase de cianofícea que puede vivir en agua dulce y tierra formando colonias esféricas, está compuesta por filamentos (Rubio, 2018).
- **Punto de carga cero.** Valor del pH en la cual la carga neta de las partículas sobre la superficie del adsorbente es neutra, el número de sitios positivos y negativos es igual (Amaringo & Hormaza, 2013).
- **Potencial  $\zeta$ .** Medida de la carga superficial de las partículas suspendidas en una solución o las condiciones del agua, indica el posible comportamiento de la dispersión (Bertus & Carcel, 2011).

## CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Tipo y nivel de investigación

#### Tipo

El tipo de la investigación fue aplicada. De acuerdo a los objetivos trazados se orientó a utilizar conocimientos en base a la información disponible sobre el uso de hidrocoloides en el tratamiento de aguas y estuvo orientada a resolver problemas prácticos, teniendo como fundamento la creación del conocimiento (Hernández, 2018).

#### Nivel

El nivel de la investigación fue experimental ya que se manipuló intencionalmente las variables como la dosis y pH durante los tratamientos, del mismo modo, se evaluó los efectos en la variable dependiente (agua tratada) y se analizó las relaciones de causa-efecto entre ambos factores de estudio, con una recolección de datos transversal.

### 4.2. Diseño de investigación

Corresponde a un diseño factorial a dos niveles ( $2^2$ ), considerando como factores la dosis del coagulante HN/SA y el pH del agua residual artificial, cada una con dos niveles de acuerdo a la matriz de diseño experimental mostrado en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Matriz de diseño experimental.*

Tratamiento	Factor 1: pH	Factor 2: Dosis (%)	Respuesta*
T1	5.5	D1 (30 mg/L HN/ 20 mg/L SA)	R1
T2	5.5	D2 (20 mg/L HN/ 30 mg/L SA)	R2
T3	7.5	D1 (30 mg/L HN/ 20 mg/L SA)	R3
T4	7.5	D2 (20 mg/L HN/ 30 mg/L SA)	R4

Donde: D1 es la dosis del hidrocoloide.

\*Los resultados de las variables de respuesta fueron obtenidos por triplicado.

#### 4.2.1. Variables de estudio

##### a. Variables independientes

- Dosis de hidrocoloide
- pH del agua residual artificial

##### b. Variables dependientes

- Parámetros físicos

- Parámetros químicos
- Remoción de sólidos

#### 4.2.2. Esquema del diseño experimental

El esquema se muestra en la Figura 3.

#### Figura 3

*Esquema de diseño experimental.*



### 4.3. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables que se analizarán se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	Unid.	
<b>Variables independientes</b>	<b>Dosis de hidrocoloide</b>	Polímeros hidrofílicos que generalmente contienen muchos grupos hidroxilo y pueden ser polielectrolitos (Burey et al., 2008).	Es la cantidad de hidrocoloide necesarias para el tratamiento del agua residual.	Dosis de hidrocoloide	dosis	ppm
	<b>pH</b>	El potencial de hidrógeno (pH) es la medición de los iones de hidrógeno presentes en el agua, el cual representa un factor importante en el proceso de coagulación floculación (Yaniris, 2006).	Es una fracción de las partículas coloidales presentes en el agua. Se empleará ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH) para cambiar sus valores.	pH	pH	---
<b>Variables Dependientes</b>	<b>Agua tratada</b>	Agua residual procesada bajo sistemas de tratamiento que busca satisfacer los requisitos de calidad en relación con la clase de cuerpo receptor al que serán descargadas o a sus posibilidades de uso (OEFA, 2014).	Es el agua obtenida después del tratamiento.	Parámetros físicos	Turbiedad Color	NTU PCU
				Parámetros químicos	DQO DBO COT	mg/L mg/L mg/L
				Remoción de sólidos	de %	%

#### 4.4. Material de estudio

##### 4.4.1. Población

La población de estudio correspondió a toda el agua residual artificial preparada para los análisis.

##### 4.4.2. Muestra

La muestra comprendió el agua residual artificial preparada para la evaluación de acuerdo a los tratamientos de la Tabla 4.

##### 4.4.3. Muestreo

El muestreo utilizado fue no probabilístico a criterio del investigador, ya que se tomaron muestras del total de agua residual artificial preparada, las cuales presentaban las mismas características en su totalidad.

#### 4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

##### 4.5.1. Metodología experimental

##### 4.5.1.1. Materiales, Equipos e instrumentos

En la Tabla 6, se muestran los diferentes materiales utilizados para la presente investigación, las cuales fueron proporcionados por el LIMTA.

**Tabla 6**

*Materiales.*

N°	Material	Cantidad
1	Vaso precipitado 100 mL	10 uds
2	Vaso precipitado 50 mL	10 uds
3	Micro pipetas de 100 a 5000 ul	10 uds
4	Probeta de 500 mL	1 ud
5	Probeta de 50 mL	10 uds
6	Fiolas 50 mL	4 uds
7	Frasco ámbar 50 mL	1 ud
8	Pipetas de 5 mL	10 uds
9	Pro pipetas	1 ud
10	Lunas de reloj	24 uds
11	Mortero de ágata	4 uds
12	Pizetas	3 uds
13	Goteros	2 uds
14	Papel filtro de 0.45 $\mu$	20 uds
15	Jeringas de 10 mL	1 caja

16	Papel tisú	1 caja
17	Guantes de nitrilo	1 caja
18	Film	1 rollo

En la Tabla 7, se muestran los equipos e instrumentos utilizados para la presente investigación.

**Tabla 7**

*Equipos e instrumentos.*

N°	Nombre	Cantidad	Marca
1	Balanza analítica	1 ud	PIONER (OHAUS)
2	Refrigeradora	1 ud	LG
3	Agitadores magnéticos	7 uds	CAT (M6)
4	FTIR	1 ud	Thermo Fisher, modelo Nicolet IS50
5	Potenciómetro de mesa	1 ud	HANNA, modelo HI5521
6	Multiparámetro de campo	1 ud	HANNA, modelo HI9829
7	Analizador de COT	1 ud	Shimadzu, modelo TOC-L CSN-SSM 5000A
8	Espectrofotómetro UV-vis	1 ud	HANNA, modelo Iris HI801
9	Desecador	1 ud	Sartorius, modelo MA35
10	Bomba de vacío	1 ud	BIOBASE, modelo GM-0.20
11	Sensores oxitop	7 uds	Velp Scientifica
12	Termoreactor de DQO	1 ud	HANNA, modelo HI839800
13	Ultrasonificador	1 ud	QSonica, modelo Q700
14	Analizador de potencial $\zeta$	1 ud	Nicomp, modelo Z3000
15	Prueba de Jarras	1 ud	Phipps & Bird, Modelo PB-900
16	Incubadora	1 ud	Binder, modelo CB 56

En la Tabla 8, se muestran los reactivos utilizados para el desarrollo de la presente investigación, las cuales fueron proporcionados por el LIMTA.

**Tabla 8**

*Reactivos.*

N°	Nombre	Cantidad
1	Hidrocoloide <i>Nosctoc Shapaericum</i>	200 mg
2	Sulfato de Aluminio	1 frasco
3	Hidróxido de Sodio	1 frasco
4	Ácido Clorhídrico	1 frasco
5	Bromuro de potasio	1 frasco
6	Agua destilada	20 L
7	Agua ultra pura	10 L

#### 4.5.1.2. Preparación del agua residual artificial

La composición del agua residual artificial se adaptó a la metodología propuesta por Nopens et al.(2001), la cual se asemeja a la composición de las aguas residuales domésticas (Tabla 9), fue preparada y llevada incubación durante 48 horas a 36 °C.

**Tabla 9**

*Composición del agua residual artificial para 1 L.*

<b>Ingredientes</b>	<b>Concentración original (mg/L)</b>
peptona	17.4
Extracto de levadura	52.2
leche en polvo	116.2
Almidón	122
Acetato de amonio	79.4
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	23.4
MgHPO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O	29
Urea	91.7
(NH <sub>4</sub> )Cl	12.8
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	5.8

Fuente: Nopens et al.,(2001).

#### 4.5.1.3. Procedimiento de tratamiento de coagulación-floculación

Se utilizó la prueba de jarras de la marca Phipps & Bird, Modelo PB-900, (EE. UU.) Se tomó 1 L con agua residual artificial, se añadió la dosis de coagulante al pH de acuerdo a la matriz de diseño experimental (Tabla 4); seguidamente, se agitó a 100 rpm durante 10 seg correspondiente a la mezcla rápida, posteriormente, se estableció el mezclado lento a 50 rpm por 15 min, para luego proseguir con el proceso de sedimentación durante 1 hora a temperatura ambiente.

Seguido a la sedimentación, se realizaron los análisis de los parámetros físicos, químicos y los sólidos del agua tratada.

#### 4.5.2. Métodos de análisis

##### 4.5.2.1. Caracterización de los grupos funcionales del hidrocoloide

Para la identificación de los grupos funcionales, se prepararon pastillas con bromuro de potasio (KBr) y el hidrocoloide, en una relación 100:1 p/p. Seguido a ello, fueron llevadas a un espectrofotómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), marca Thermo Fisher, modelo

Nicolet IS50 (Madison, WI, EE. UU.). Las lecturas de los espectros se realizaron con una resolución de  $2\text{ cm}^{-1}$  e intervalos de longitud de onda entre 400 a  $3900\text{ cm}^{-1}$ .

El registro de los espectros se analizó utilizando el software Nicolet iS10 Spectrometer.

#### **4.5.2.2. Punto de Carga Cero (PCC)**

Para determinar el PCC se prepararon soluciones con pH 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, ajustadas con NaOH 0.1 N y HCl 0.1 N. Se adicionó 0.05 g de hidrocoloide en 50 mL de cada solución, las cuales fueron llevadas a agitación continua con 150 rpm, durante 24 h a temperatura ambiente. Al término se midió el pH de la solución resultante.

Para encontrar el PCC, se graficó los valores del pH inicial vs el pH final de la solución, la intersección entre las curvas, reportó el valor del PCC (Amaringo & Hormaza, 2013).

#### **4.5.2.3. Determinación de tamaño de partícula y potencial zeta $\zeta$**

Para las lecturas del potencial  $\zeta$ , se dispersaron 4 mg del hidrocoloide en 5 mL de agua ultrapura; seguido a ello se agitó a 1000 rpm en un agitador magnético durante 5 min y se ultrasónico durante 5 min a temperatura ambiente. Asimismo, se tomó una alícuota en un capilar para determinar la distribución hidrodinámica del diámetro y tamaño por dispersión dinámica de luz (DLS), utilizando el equipo nano ZLS, marca Nicomp, modelo Z3000 (Massachusetts, MA, EE.UU.), considerando un ancho de banda de  $33\ \mu\text{s}$  y ángulo de dispersión de  $90^\circ$ ; del mismo modo, se tomó 2 mL de la solución en una celda de poliestireno y se hizo las lecturas en el mismo equipo, a una longitud de onda del láser de 632.8 nm con un ángulo de dispersión de  $-14.14^\circ$ , una intensidad de campo eléctrico de 5 V/cm y un índice de refracción de 1.62 correspondiente al HN para conocer su potencial  $\zeta$  (Choque et al., 2022).

#### **4.5.2.4. Parámetros físicos del agua**

La caracterización del agua residual artificial, se realizó tomando alícuotas de agua residual antes y después de la prueba de coagulación-floculación.

##### **4.5.2.4.1. Potencial de hidrógeno (pH)**

La medida del pH se realizó con el electrodo del potenciómetro, marca HANNA, modelo HI5521 (EE.UU.), previamente calibrado. Para ello, fue necesario separar un volumen de la muestra en un vaso precipitado e insertar el electro para las lecturas (APHA, 2012).

#### **4.5.2.4.2. Turbiedad**

La turbiedad fue medida con el electrodo de turbiedad del multiparámetro marca HANNA, modelo HI9829 (EE. UU.), previamente calibrado. Para ello, fue necesario separar un volumen de la muestra en un vaso precipitado e insertar el electrodo para las lecturas (APHA, 2012).

#### **4.5.2.4.3. Color**

Para la solución estándar de la determinación del color del agua, se utilizó agua desionizada, seguido a ello, se agregó la solución de la muestra en otra cubeta y se realizó la lectura utilizando un espectrofotómetro UV-vis, marca HANNA, modelo Iris HI 801 (EE.UU.), a una longitud de onda de 460 nm con el método espectrométrico de platino cobalto para determinar el color aparente (APHA, 2012).

#### **4.5.2.5. Parámetros químicos del agua**

##### **4.5.2.5.1. Demanda química de oxígeno (DQO)**

La DQO se determinó utilizando el kit de reactivos, se agregó 2 mL de agua desionizada a un vial con la solución estándar y 2 ml de muestra de agua residual artificial a otro vial, ambos viales fueron homogenizados y llevados al termoreactor a 150 °C durante 2 h. Una vez digestadas las muestras, se esperó a que se enfríen para realizar las lecturas utilizando un espectrofotómetro UV-vis, a una longitud de onda de 420 nm con el método colorimétrico de flujo cerrado (APHA, 2012).

##### **4.5.2.5.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

El contenido de DBO<sub>5</sub> se analizó mediante el método respirométrico, para ello las muestras fueron tomadas en botellas ámbar con una cantidad suficiente de microorganismos y nutrientes a una temperatura de 20 °C, el cual mediante agitación hizo que el O<sub>2</sub> presente en la cámara de aire se disuelva en el líquido. Por su parte, los microorganismos al respirar el oxígeno disuelto en la muestra durante el proceso de degradación de la materia orgánica, exhalaban el CO<sub>2</sub>, el cual fue absorbido por los gránulos de NaOH y contenido en un reservorio de goma, produciendo una diferencia de presión en la botella, la cual fue medida por el sensor oxitop (APHA, 2012). Para ello, se preparó las diferentes soluciones:

- **Solución de tapón de fosfato**

Se disolvió 8.5 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 21.75 g de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 33.4 d de Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O y 1.7 de NH<sub>4</sub>Cl en 600 mL de agua destilada y se aforó a 1 L.

- **Solución de sulfato de magnesio**

Se disolvió 22.5 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en 800 mL de agua destilada y se aforó a 1 L.

- **Solución de cloruro de calcio**

Se disolvió 27.5 g de  $\text{CaCl}_2$  en 800 mL de agua destilada y se aforó a 1 L.

- **Solución de cloruro férrico**

Se disolvió 0.25 g de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en 800 mL de agua destilada se aforó a 1 L.

- **Solución de cloruro de amonio**

Se disolvió 38.2 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en 800 mL de agua destilada, se neutralizó con  $\text{KOH}$  para tener un pH de 7 y se aforó a 1 L.

- **Solución de mezcla de nutrientes**

Se preparó el volumen necesario según la cantidad a utilizar, teniendo en cuenta la proporción de la mezcla de nutrientes: 3 mL solución de tapón de  $\text{PO}_4^{3-}$ , 1 mL Solución de  $\text{MgSO}_4$ , 1 mL Solución de  $\text{CaCl}_2$ , 1 mL Solución de  $\text{FeCl}_3$  y 1 mL Solución de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

La determinación de la  $\text{DBO}_5$ , se realizó a través de los sensores respirométricos, utilizando el software RESPIROSoft, que midió el oxígeno consumido por microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica después de 5 días.

#### 4.5.2.5.3. Determinación de Carbono Orgánico Total (COT)

La determinación del COT se realizó colocando 50  $\mu\text{L}$  de agua tratada en crisoles de cerámica, las cuales fueron cubiertas con fibra de vidrio para luego ser analizados en un analizador carbono orgánico total, marca Shimadzu, modelo TOC-L CSN-SSM 5000A (Kioto, Japón), con flujo de oxígeno de 150 mL/min; los resultados fueron reportaron a través del software TOC control L V. 1.07 (Ligarda et al., 2022).

#### 4.5.2.6. Determinación de sólidos

Los sólidos presentes en el agua residual se determinaron mediante el método gravimétrico, las cuales fueron dependientes de la diferencia entre el peso seco y peso húmedo en relación al volumen de la muestra (APHA, 2012).

##### 4.5.2.6.1. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Para la determinación de SST, se pesó el crisol con papel filtro (P0), seguidamente, el papel filtro de 0.45  $\mu$  fue transferido a un portafiltros adaptado al kit Kitasato para filtración, donde se filtró 50 mL de la muestra; posterior a ello, el crisol con el papel filtro fue llevado a una estufa para ser secado, luego enfriado en un desecador. El crisol con residuo fue pesado y se registró el resultado en gramos del peso final (P1). El resultado se expresó en función a la Ecuación 1.

$$SST(mg/L) = \frac{(P1-PO)*1000000}{V_{muestra}(mL)} \quad (1)$$

#### 4.5.2.6.2. Sólidos Disueltos Totales (SDT)

La determinación de SDT, se realizó con el electrodo del potenciómetro, marca HANNA, modelo HI5521 (EE.UU.), previamente calibrado. Para ello, fue necesario separar un volumen de la muestra en un vaso precipitado e insertar el electrodo para las lecturas (APHA, 2012).

#### 4.5.2.7. Porcentaje de remoción

La capacidad floculante del hidrocoloide se evaluó midiendo los porcentajes de remoción de los parámetros analizados del agua residual artificial. Para ello, se hizo uso de la Ecuación 2, propuesta por Ding et al., (2012).

$$\% R = \frac{C_{inicial} - C_{final}}{C_{inicial}} * 100 \quad (2)$$

Donde: R, representa al porcentaje de remoción,  $C_{inicial}$  a la concentración inicial y  $C_{final}$  a la concentración final.

### 4.6. Procesamiento y análisis de datos

#### 4.6.1. Análisis estadístico

Los datos fueron representados a través de tablas dinámicas, considerando valores promedios, desviación estándar, y coeficiente de variabilidad. Del mismo modo, fueron analizados a través de un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial, con la finalidad de determinar la variabilidad de los tratamientos a un nivel de significancia del 5% ( $\alpha$ ), considerando como criterio, se acepta  $H_0$  si  $\alpha > 0.05$ .

Para lo cual se propuso las siguientes hipótesis estadísticas:

**Hipótesis nula,  $H_0$ :** No existe efecto significativo de la dosis y pH en los parámetros físicos y químicos del agua, y la capacidad de remoción de sólidos de los tratamientos.

**Hipótesis alterna,  $H_A$ :** Existe efecto significativo de la dosis y pH en los parámetros físicos y químicos del agua, y la capacidad de remoción de sólidos de los tratamientos.

Asimismo, se realizó un estudio de efectos principales de las variables de entrada (dosis y pH) sobre el potencial zeta y tamaño de partícula. A la existencia de diferencia significativa

entre tratamientos, se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey al 5% de significancia.

El análisis de los datos por triplicado, fueron realizados en el Software Minitab V16.

#### 4.6.1.1. Correlación de Pearson

La prueba estadística que se aplicó a los resultados del presente proyecto fue la correlación de Pearson, para la cual se correlacionó las variables analizadas en los tratamientos. El intervalo de confianza que se aplicó fue del 95%, teniendo en cuenta que los intervalos de interpretación pueden tomar un valor entre +1.0 y -1.0.

**Tabla 10**

*Coefficientes de correlación de Pearson.*

Valor de "r"	Significado
-1.0	Correlación negativa grande y perfecta
-0.9 a -0.99	Correlación negativa muy alta
-0.7 a -0.89	Correlación negativa alta
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada
-0.2 a -0.39	Correlación negativa baja
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja
0.0	Correlación nula
0.01 a 0.019	Correlación positiva muy baja
0.2 a 0.39	Correlación positiva baja
0.4 a 0.69	Correlación positiva moderada
0.7 a 0.89	Correlación positiva alta
0.9 a 0.99	Correlación positiva alta
1.0	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: Novillo et al. (2018)

Para la aplicación de la correlación de Pearson, se asumió que los datos siguen una distribución normal, dado que el número de tratamientos descrito es pequeño. Por ello, se presentó la media y desviación estándar.

## CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

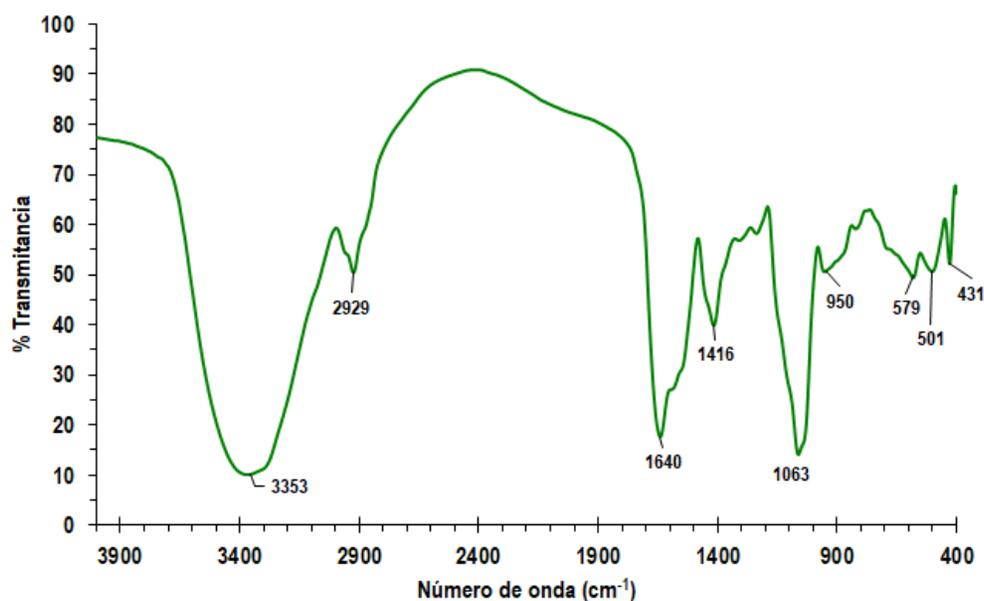
### 5.1. Caracterización de los grupos funcionales del hidrocoloide

La Figura 4, muestra el espectrograma del HN y se evidencia sus diferentes bandas de absorción en un rango de onda entre 400 a 3900  $\text{cm}^{-1}$ . Se observa, un pico en la longitud de onda 3353  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente a una vibración de estiramiento de enlaces O-H propio de la interacción de carbohidratos y agua, las cuales permitirían el establecimiento de puentes de hidrógeno, asimismo grupos funcionales hidroxilo O-H y amino N-H; en la banda 2929  $\text{cm}^{-1}$  se evidencia otra vibración de estiramiento de enlaces C-H y  $\text{NH}_3$  debido a la presencia de grupos carbonilo y ácidos carboxílicos posiblemente de aldehídos y ácidos orgánicos (Tabla 11), mientras que a 1640  $\text{cm}^{-1}$  presenta estiramientos de enlaces OH, C=C, C=O lo que indicaría la incidencia de grupos funcionales del tipo carbonilo proveniente de cetonas, en la cual la intensidad es evidente en los materiales atomizados, lo que da a conocer la naturaleza hidrofílica del hidrocoloide (Choque et al., 2022); asimismo, estarían asociadas a la presencia de grasas, polifenoles, flavonoides y modificaciones del anillo aromático en los compuestos (Grasel et al., 2016). En la banda 1416  $\text{cm}^{-1}$  se identifica vibraciones de tensión de enlaces  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}_3$ ,  $\text{COO}^-$ , atribuidos al tramo simétrico del anión carboxilato y grupos metilo (Aftab et al., 2020); a 1063  $\text{cm}^{-1}$  presenta enlaces C-C-C y C-O correspondientes a la región de absorción de polisacáridos y carbohidratos con mayor intensidad para muestras atomizadas, a diferencia de la banda 950  $\text{cm}^{-1}$  donde presenta una flexión de enlace C-H típico de los alquenos. Los espectros de baja intensidad 579 y 501  $\text{cm}^{-1}$  corresponden a flexiones de enlaces CHO, C-O-C, C-C-O relacionados a los carbohidratos, entre ellas gomas e hidrocoloides (Shi Gang et al., 2019).

De acuerdo a los resultados obtenidos, el hidrocoloide presenta enlaces C-C-C y C-O en la banda 1063  $\text{cm}^{-1}$  propios de polisacáridos y carbohidratos presentes; los cuales son similares a los resultados de Herrera (2012), quien registró enlaces C-C-C en las bandas comprendidas entre 1200  $\text{cm}^{-1}$  y 900  $\text{cm}^{-1}$ , correspondientes a la región de absorción de polisacáridos, tales resultados se relacionan a los grupos funcionales encontrados en el espectrograma del HN, debido a que los polisacáridos en su mayoría presentan enlaces de esta naturaleza, que son únicas y particulares para cada polisacárido. Esto se corrobora con, Choque et al. (2022), quien menciona que el *Nostoc Sphaericum*, está constituido por unidades de monosacáridos y anión carboxilato, mismos que fueron encontrados en la banda 1416  $\text{cm}^{-1}$  con enlaces  $\text{COO}^-$ .

**Figura 4**

Espectrograma del HN.

**Tabla 11**

Asignación de grupos funcionales FTIR del HN.

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )		Grupo funcional	Tipo de vibración	Tipo de compuesto
Rango	<i>Nostoc Sphaericum</i>			
3500 - 3300	3353	N-H, O-H	estiramiento	Hidroxilo, amino
2950 - 2850	2929	C-H, NH <sub>3</sub>	estiramiento	Aldehídos, ácidos orgánicos
1700 - 1600	1640	-OH, C=C, C=O	estiramiento	Cetonas
1590 - 1400	1416	CH <sub>2</sub> , COO-, CH <sub>3</sub>	flexión	Metilos, pectina, ácidos carboxílicos
1200 - 900	1063, 950	C-H, C-O, C-C-C	Flexión	Alquenos, huella digital de carbohidratos
500 - 400	579	CHO	Flexión	Carbohidratos, hidrocoloide
450 - 320	501	C-O-C, C-C-O	Flexión	Carbohidratos, hidrocoloide

## 5.2. Punto de Carga Cero (PCC)

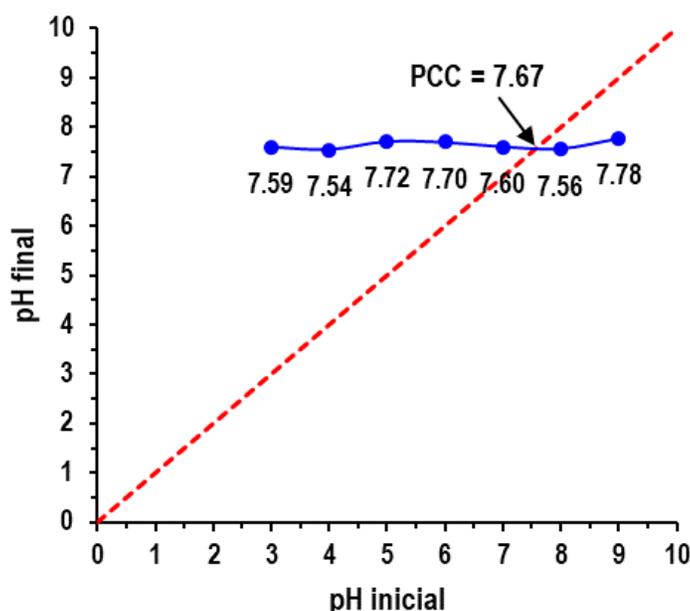
El PCC, se realizó con la finalidad de determinar las condiciones de la solución en la cual, la densidad superficial de cargas positivas sea igual a la de cargas negativas (Gulicovski et al., 2008); dado que es de importancia para identificar el comportamiento de sistemas coloidales.

En la Figura 5, se evidencia, que el PCC del HN fue 7.67, el cual tiende a neutro e indica que el HN presenta afinidad por cargas positivas a pH menor al PCC y cargas negativas a valores superiores del PCC, este comportamiento es habitual para materiales de esta naturaleza (Shen, 2016). Por tanto, el PCC determina las condiciones adecuadas en cuanto al pH para alcanzar una remoción eficiente de contaminantes (Alberto et al., 2013).

En cuanto al PCC se observó valores de 7.67 cuya tendencia es neutra, similares a los resultados obtenidos por Bertus & Carcel (2011), quienes encontraron valores de PCC 7.71 al trabajar con algas, dado que pueden sufrir variaciones debido a lo mencionado por Gulicovski et al. (2008), quien indica que el PCC de materiales sólidos está vinculado al proceso de síntesis, la estructura cristalina y la presencia de impurezas.

### Figura 5

*Punto de Carga Cero HN.*



### 5.3. Potencial $\zeta$ y tamaño de partícula

El grado de repulsión entre partículas adyacentes cargadas en una dispersión o solución, es un parámetro importante para conocer la carga superficial de los materiales que son usados en el proceso de floculación (Li et al., 2015).

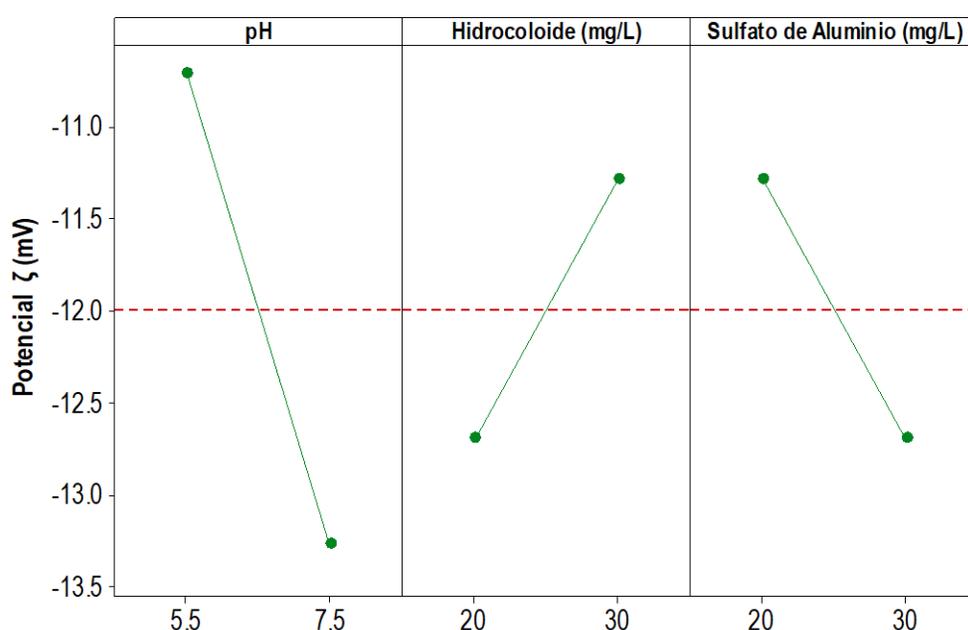
El HN, presentó valores de potencial  $\zeta$  de -22.52 mV a pH 5.5 y -25.53 mV a pH 7.5, estos valores sugieren estabilidad media (Salopek et al., 1992). La adición de sulfato de aluminio en medio acuoso incrementó sus valores, siendo mayor a pH 5.5 ( $p < 0.05$ ) esto indica que el

coagulante HN/SA presenta menor estabilidad, permitiendo la formación de flocs debido a la reducción de las fuerzas de repulsión entre partículas, lo que favorecería la coagulación y posterior precipitación (Salopek et al., 1992; Czemińska et al., 2015).

La adición de HN en el proceso de floculación disminuye significativamente la estabilidad de las partículas en suspensión, lo contrario sucede con la adición de SA (Figura 6), del mismo modo el pH afecta significativamente la estabilidad disminuyendo su valor en medio ácido.

### Figura 6

Gráfica de efectos principales para potencial  $\zeta$  del coagulante HN/SA.



La Tabla 12 presenta valores del potencial  $\zeta$  de los diferentes tratamientos realizados en función al pH y la dosis del coagulante HN/SA. Se observó que los tratamientos reportaron valores entre -10.25 a -15.23 mV, presentando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), puesto que la estabilidad de los tratamientos aumentó significativamente en medio alcalino, a diferencia del medio ácido, la estabilidad disminuyó.

**Tabla 12**

*Potencial  $\zeta$  de cada tratamiento del coagulante HN/SA.*

Tratamiento	Potencial $\zeta$ (mV)			
	$\bar{X}$	S	C.V.	*
<b>TC</b>	-22.52	1.14	5.07	C
<b>T1</b>	-11.27	0.52	4.61	A
<b>T2</b>	-10.15	0.01	0.10	A
<b>TC</b>	-25.74	0.53	2.07	D
<b>T3</b>	-11.30	0.63	5.58	A
<b>T4</b>	-15.23	0.67	4.37	B

Donde:  $\bar{x}$  es la media, S la desviación estándar y C.V. el coeficiente de variación

\* las letras diferentes indican que existe diferencia significativa, prueba de Tukey al 95%.

\*TC es el tratamiento control y T1, T2, T3, T4 son los tratamientos de acuerdo al diseño experimental.

En cuanto al agua residual artificial, presentó estabilidad ligera -19.85 mV a pH 5.5 y -20.53 mV a pH 7.5, debido a que la mayor parte de los coloides de aguas residuales desarrollan una carga negativa primaria (Weber, 2013).

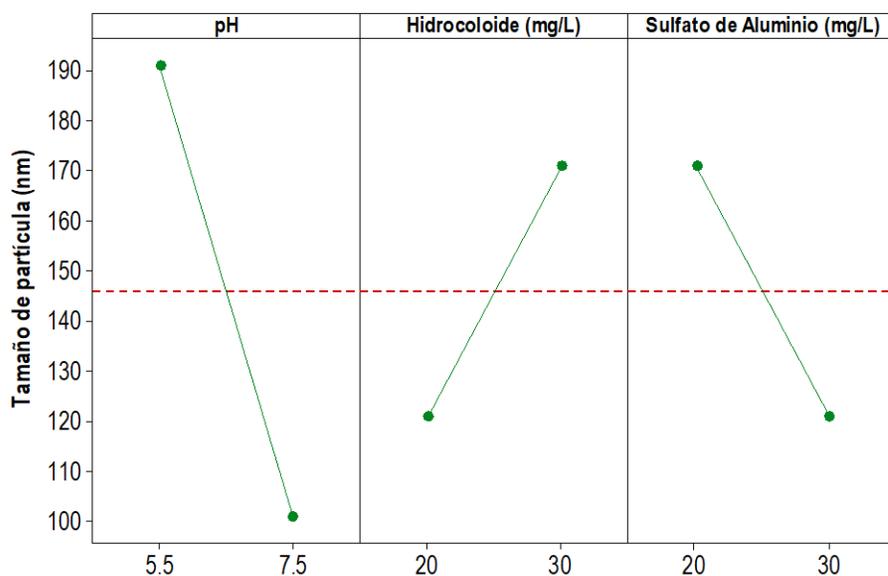
El potencial  $\zeta$  reportado del HN, presenta disminución de estabilidad en medio ácido, semejantes a los resultados obtenidos por Carneiro et al. (2011), quien concluye que la disminución de la estabilidad en medio ácido se debe a la tendencia a asociarse provocada por los grupos funcionales hidroxilo y amino presentes en los polisacáridos, los cuales experimentan enlaces de hidrógeno de manera rápida; Del mismo modo, Phillips et al. (2006), indica que el aumento de la estabilidad en medio alcalino se debe a la ionización de los grupos carboxilato, los cuales también son parte de la estructura del HN.

Por otro lado, determinar el tamaño de partícula resulta importante para medir las propiedades físicas y efectos de un compuesto, uno de los métodos ampliamente usados es la dispersión de luz dinámica y el movimiento browniano, que en base al radio de las partículas determinan su tamaño (Jiaping et al., 2015).

Los resultados indican que el tamaño del aglomerado aumenta en función a la adición del HN, lo contrario sucede con el SA; asimismo, el pH afecta significativamente, disminuyendo su tamaño en medio ácido (Figura 7).

### Figura 7

Gráfica de efectos principales para el tamaño de partícula del coagulante HN/SA.



El tamaño de partícula del HN, estuvo en el rango de 122.10 nm pH 5.5 y 158.40 nm pH 7.5 coincidiendo con los polisacáridos de este tipo que forman la fase dispersa, los cuales presentan tamaños entre 1 y 1000 nm a causa de la abundancia de grupos hidroxilo que interactúan por medio de enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua cercanas para aumentar su afinidad y convertirse en compuestos hidrofílicos (Razavi, 2019; Medina et al., 2022).

La Tabla 13, presenta el tamaño de partícula del coagulante HN/SA en base a los diferentes tratamientos realizados, los datos reportaron valores entre 160.85 nm y 81.12 nm, presentando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), las cuales tienden a aumentar en medio ácido.

**Tabla 13**

*Tamaño de partícula de cada tratamiento del coagulante HN/SA.*

Tratamiento	Tamaño de partícula (nm)			
	$\bar{X}$	S	C.V.	*
TC	122.10	22.73	18.61	B
T1	160.85	1.30	0.81	A
T2	154.63	3.44	2.23	A
TC	158.40	26.51	16.74	A
T3	120.99	24.16	19.97	B
T4	81.12	4.29	5.28	C

Donde:  $\bar{x}$  es la media, S la desviación estándar y C.V. el coeficiente de variación

\* las letras diferentes indican que existe diferencia significativa, prueba de Tukey al 95%.

\*TC es el tratamiento control y T1, T2, T3, T4 son los tratamientos de acuerdo al diseño experimental.

Las partículas constituyentes del agua residual artificial, presentaron un tamaño de 221.20 nm a pH 5.5. y 176.30 nm a pH 7.5, lo que representa la materia orgánica coloidal presente y suspendida.

El tamaño de partícula del HN, presentó variaciones entre 158.40 nm y 81.12 nm las cuales son significativas por el cambio del pH, esto se corrobora con lo citado por Wang & Cui (2005), quien indica que el pH afecta significativamente el tamaño de partícula del polisacárido disminuyendo la repulsión electrostática y la asociación intermolecular ocasionada por la baja viscosidad causado por el cambio de pH, esto se refleja en los resultados obtenidos de tamaño de partícula, el cual aumenta en medio ácido.

#### 5.4. Parámetros físicos y químicos del agua residual tratada

Los parámetros físicos reportados se muestran en la Tabla 14. El color inicial fue de 1083 y 1404 PCU a pH 5.5. y 7.5 respectivamente, luego del proceso coagulación-floculación se observó que disminuyeron significativamente ( $p < 0.05$ ), llegando hasta valores de 282 PCU para el tratamiento T1 y 717 PCU para el tratamiento T3 a pH 5.5 y 7.4 respectivamente, obteniéndose mayor remoción de color en medio ácido.

En cuanto a la turbiedad, los datos reportaron valores de 77.27 y 71.50 NTU a pH 5.5 y 7.5 respectivamente, seguido a la adición de coagulante HN/SA se evidenció una disminución significativa, además de una ligera variación entre cada tratamiento a un mismo pH ( $p < 0.05$ ), llegando a valores de 37.50 NTU para el tratamiento T2 a pH 5.5. y 52.40 NTU para el tratamiento T4 a pH 7.5, presentando un 50.17% de remoción de turbiedad a pH ácido con respecto a su valor inicial.

**Tabla 14**

*Parámetros físicos del agua residual artificial.*

Tratamiento	Color (PCU)					Turbiedad (NTU)				
	$\bar{X}$	S	C.V.	*	% R	$\bar{X}$	S	C.V.	*	% R
<b>TC</b>	1083.00	10.39	0.96	B	---	77.27	1.29	1.66	A	---
<b>T1</b>	282.00	10.39	3.69	F	73.96	38.50	0.10	0.26	D	50.17
<b>T2</b>	444.00	10.39	2.34	E	59.00	37.50	0.10	0.27	D	51.47
<b>TC</b>	1404.00	15.59	1.11	A	---	72.50	1.40	1.93	B	---
<b>T3</b>	717.00	20.78	2.90	D	48.93	54.10	0.36	0.67	C	25.38
<b>T4</b>	762.00	5.20	0.68	C	45.73	52.40	0.10	0.19	C	27.72

Donde:  $\bar{x}$  es la media, S la desviación estándar y C.V. el coeficiente de variación

\* las letras diferentes indican que existe diferencia significativa, prueba de Tukey al 95%.

\*TC es el tratamiento control y T1, T2, T3, T4 son los tratamientos de acuerdo al diseño experimental.

Los valores encontrados para ambos parámetros sugieren que el material propuesto presenta alta eficiencia en medio ácido, dado que esta variable mantiene buena influencia en diversas reacciones que ocurren en el agua, lo que evidencia el efecto del pH en la estabilidad del coagulante.

El coagulante analizado HN/SA, mostró buena eficiencia en medio ácido, esto confirma lo mencionado por Navarro et al. (2005), quien concluye que la remoción es favorecida por los grupos funcionales procedentes de los ácidos, lo que evidencia la sensibilidad del coagulante en medio ácido y por ende su eficiencia; ya que el HN presenta grupos funcionales  $\text{COO}^-$ , correspondientes a ácidos carboxílicos.

Respecto a los parámetros químicos del agua residual artificial, se analizó la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el Carbono Orgánico Total (COT), dado que representan a los contaminantes de origen orgánico presentes en el agua residual.

La Tabla 15, presenta el comportamiento de la  $\text{DBO}_5$  de acuerdo a los tratamientos realizados. La concentración inicial fue de 500 y 484 mg/L a pH 5.5 y 7.5 respectivamente, posterior a la adición del coagulante los valores disminuyeron significativamente hasta 468 mg/L correspondiente al tratamiento T2 y 374 mg/L para el tratamiento T3, asimismo, se observó diferencias significativas en base a los tratamientos ( $p < 0.05$ ), evidenciándose mayor remoción en medio alcalino.

Los valores de DQO registrados se muestran en la Tabla 15. La concentración de inicial reportado fue de 42.94 y 93.51 mg/L a pH 5.5 y 7.5 respectivamente, seguido al proceso de coagulación-floculación se observó que disminuyeron significativamente ( $p < 0.05$ ), llegando a

valores de 1.93 mg/L para el tratamiento T1 y 20.72 mg/L para el tratamiento T3, observándose una tendencia ascendente partir de la disminución en la concentración del HN, de igual modo, por el cambio de pH. En cuanto al porcentaje de remoción, presentó mayor eficiencia en medio ácido.

Por otro lado, se determinó el grado de biodegradabilidad a partir de la relación entre la DBO<sub>5</sub> y DQO, obteniéndose un grado de biodegradabilidad elevada (> 0.7), siendo el agua residual analizado muy biodegradable (Córdova et al., 2018).

**Tabla 15**

*Contenido de DBO<sub>5</sub> y DQO del agua residual artificial.*

Tratamiento	DBO <sub>5</sub> (mg/L)					DQO (mg/L)					$\frac{DBO_5}{DQO}$
	$\bar{X}$	S	C.V.	*	% R	$\bar{X}$	S	C.V.	*	% R	
<b>TC</b>	500	0.00	0.00	A	**	41.96	0.05	0.12	B	**	11.92
<b>T1</b>	474	0.00	0.00	C	5.2	1.93	0.05	2.74	F	95.41	246.19
<b>T2</b>	468	0.00	0.00	D	6.4	8.92	0.02	0.20	E	78.74	52.46
<b>TC</b>	484	0.00	0.00	B	**	93.51	0.01	0.01	A	**	5.18
<b>T3</b>	374	0.00	0.00	F	22.73	20.72	0.02	0.10	D	77.84	18.05
<b>T4</b>	464	0.00	0.00	E	4.13	24.21	0.00	0.02	C	74.11	19.17

Donde:  $\bar{x}$  es la media, S la desviación estándar y C.V. el coeficiente de variación

\* las letras diferentes indican que existe diferencia significativa, prueba de Tukey al 95%.

\*TC es el tratamiento control y T1, T2, T3, T4 son los tratamientos de acuerdo al diseño experimental.

Los valores reportados de DQO, demuestran la eficiencia del coagulante en medio ácido para disminuir la carga orgánica en el tratamiento de agua residual, dado que determina el grado de oxidación de la materia orgánica, a diferencia del medio alcalino, el cual presenta menor remoción.

Por su parte la DBO<sub>5</sub> presentó menor remoción, debido a la naturaleza del agua residual, que muestra una considerable actividad biológica, ya que presenta un alto contenido orgánico. Asimismo, la concentración de DBO<sub>5</sub> fue muy alta en comparación a los límites máximos permisibles (DBO<sub>5</sub> ≤ 100 mg/L) para los efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales, a diferencia de la DQO (DQO ≤ 200 mg/L), que presentó valores inferiores a la normativa vigente (MINAM, 2010).

Los resultados de la DQO, muestran una alta eficiencia de remoción en medio ácido, debido a la oxidación de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual artificial, esta eficacia es explicada por Linares et al. (2011), quien indica que la remoción de contaminantes

de origen orgánico es influenciada por las reacciones que ocurren por el cambio de pH, debido a que en medio alcalino el potencial oxidativo de los radicales OH<sup>-</sup> disminuye.

Las concentraciones del COT se muestran en la Tabla 16. El contenido de COT inicial fue de 0.056 y 0.011 mg/L a pH 5.5 y 7.5 respectivamente, luego de la adición de coagulante HN/SA se observó que disminuyeron significativamente ( $p < 0.05$ ), llegando a concentraciones de 0.030 mg/L para el tratamiento T1 y 0.007 mg/L para el tratamiento T4, evidenciándose mayor remoción en medio ácido.

**Tabla 16**

*Contenido de COT del agua residual artificial.*

Tratamiento	COT (mg/L)				
	$\bar{X}$	S	C.V.	*	% R
TC	0.056	0.000	0.03	A	**
T1	0.030	0.002	7.99	C	46.67
T2	0.040	0.002	6.27	B	29.59
TC	0.011	0.000	3.49	D	**
T3	0.009	0.001	8.09	D E	19.08
T4	0.007	0.000	4.49	E	39.72

Donde:  $\bar{x}$  es la media, S la desviación estándar y C.V. el coeficiente de variación

\* las letras diferentes indican que existe diferencia significativa, prueba de Tukey al 95%.

\*TC es el tratamiento control y T1, T2, T3, T4 son los tratamientos de acuerdo al diseño experimental.

Pedrerros et al. (2021), en su estudio reportó que el pH ácido genera efectos significativos en la remoción del COT de 36.85%, la cual es ocasionada por la formación de especies orgánicas oxidadas y la dilución del CO<sub>2</sub> en el agua, producto de la mineralización de la materia orgánica, similar comportamiento se encontró para el HN, la cual presentó buen porcentaje de remoción 46.67% en medio ácido.

### 5.5. Remoción de sólidos presentes en el agua residual artificial

El contenido de SST en el agua residual artificial se muestra en la Tabla 17, teniendo como valores iniciales 80 y 80.83 mg/L a pH 5.5 y pH 7.5 respectivamente, el cual seguido al proceso de coagulación-floculación disminuyeron significativamente ( $p < 0.05$ ), hasta llegar a valores de 41.67 mg/L para el tratamiento T2 y 27.50 mg/L para el tratamiento T4, logrando una remoción máxima de 47.92% y 65.98% en medio ácido y alcalino respectivamente.

En cuanto a los SDT, presentó valores iniciales de 119 y 187 mg/L a pH 5.5 y 7.5 respectivamente, seguido al tratamiento realizado con el coagulante logró disminuir

significativamente ( $p < 0.05$ ) hasta valores de 94.67 mg/L para el tratamiento T1 a pH 5.5 y 150.67 mg/L para el tratamiento T3 a pH 7.5. Obteniéndose una remoción de máxima del 20.45 % en medio ácido y 19.72% en medio alcalino.

**Tabla 17**

*Sólidos presentes en el agua residual artificial.*

Tratamiento	SST (mg/L)					SDT (mg/L)				
	$\bar{X}$	S	C.V.	*	%R	$\bar{X}$	S	C.V.	*	%R
TC	80.00	3.33	4.17	A	**	119.00	1.00	0.84	C	**
T1	48.33	1.67	3.45	B	39.58	94.67	0.58	0.61	D	20.45
T2	41.67	1.67	4.00	C	47.92	95.67	0.58	0.60	D	19.61
TC	80.83	2.50	3.09	A	**	187.67	2.31	1.23	A	**
T3	42.22	1.92	4.56	C	47.77	150.67	0.58	0.38	B	19.72
T4	27.50	0.83	3.03	D	65.98	152.33	1.15	0.76	B	18.83

Donde:  $\bar{x}$  es la media, S la desviación estándar y C.V. el coeficiente de variación

\* las letras diferentes indican que existe diferencia significativa, prueba de Tukey al 95%.

\*TC es el tratamiento control y T1, T2, T3, T4 son los tratamientos de acuerdo al diseño experimental.

La remoción de los sólidos en el agua residual artificial, evidencia la disminución de las fracciones de material particulado presente en el agua residual artificial que refleja parte de las características de las aguas residuales domésticas reales. Por su parte, el contenido de SST se encuentra dentro de los límites máximos permisibles ( $SST \leq 150$  mg/L) para los efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales (MINAM, 2010).

La remoción de sólidos indica que el proceso de coagulación-floculación desestabiliza los sólidos presentes en el agua residual, asimismo, disminuye el contenido de materia orgánica, siendo factores condicionantes, la dosis, pH y tiempo de sedimentación. Benedict et al. (2023), reportó una remoción del 69.46% de sólidos en medio alcalino y tiempo de sedimentación de 30 min, lo cual se relaciona a los resultados obtenidos por el coagulante HN/SA que presentó una remoción de sólidos del 65.98% en medio alcalino con un tiempo de sedimentación de una hora, lo que evidencia el buen desempeño del coagulante.

## 5.6. Correlación de Pearson

En la Tabla 18, se muestran la correlación de los parámetros analizados. Se observó que el color con DQO (0.997) presentó alta correlación positiva, del mismo modo el contenido de SDT con la turbiedad (0.993), con el color (0.957) y con DQO (0.957), esto demostraría que los niveles altos de SDT aumentan la actividad biológica en el agua residual artificial (Chigor et al., 2013), lo cual también se evidencia con la correlación de la turbiedad con el color (0.928) y con DQO

(0.924). Asimismo, se evidenció correlaciones positivas moderadas del COT con los SST (0.59) y con DBO<sub>5</sub> (0.553).

En cuanto a las correlaciones negativas, se observó que el COT con la turbiedad, (-0.966) y con la SDT (-0.961) presentaron correlación negativa muy alta, asimismo con DQO (-0.858) que presentó correlación negativa alta; Respecto a la DBO<sub>5</sub>, se observó correlaciones negativas moderadas con el contenido de SDT (-0.616), con DQO (-0.509), con turbiedad (-0.586) y con el color (-0.554), los cuales evidencian los cambios generados por los constituyentes orgánicos biodegradables en el agua residual (Martinez et al., 2017).

**Tabla 18**

*Matriz correlacional de los parámetros analizados.*

	Color	Turbiedad	SST	SDT	DBO <sub>5</sub>	DQO
Turbiedad	0.928					
SST	-0.768	-0.586				
SDT	0.957	0.993	-0.671			
DBO <sub>5</sub>	-0.554	-0.687	-0.09	-0.616		
DQO	0.997	0.924	-0.799	0.957	-0.509	
COT	-0.851	-0.966	0.59	-0.961	0.553	-0.858

Dhirendra et al., (2009), indica que las partículas en suspensión, materia orgánica y sólidos disueltos presentes en el agua residual aumentan los valores de los parámetros físicos del agua. En este sentido, las correlaciones positivas obtenidas de los parámetros turbiedad con color (0.928), con SDT (0.993), con DQO (0.924), color con SDT (0.957) y con DQO (0.997) muestran alto contenido de materia orgánica presente en el agua residual artificial, estos mismos resultados, son comparados con Kang et al. (2019), quien encontró una correlación negativa alta del COT con DQO (-0.867), el cual indica la influencia de la carga orgánica en el contenido de COT, estos resultados son propios de aguas residuales de origen doméstico con características similares a las aguas residuales analizadas.

## CONCLUSIONES

El hidrocoloide *Nostoc Sphaericum*, presentó buena remoción de contaminantes en el tratamiento de agua residual artificial, dado que el pH fue un factor condicionante.

Se determinó los grupos funcionales del hidrocoloide *Nostoc Sphaericum*, que está constituido por carbonilo, aldehídos, ácidos orgánicos y ácidos carboxílicos, el cual presentó un valor de punto de carga cero de 7.67. El potencial  $\zeta$ , estuvo comprendido entre -25 mV mayor estabilidad en medio alcalino y -10 mV de menor estabilidad en medio ácido, lo que favorece a la formación de flocs, debido a la reducción de las fuerzas de repulsión entre partículas. El tamaño de partícula del hidrocoloide *Nostoc Sphaericum*, se encontró entre 122.10 nm y 158.40 nm, lo que evidencia un aumento de tamaño favoreciendo la sedimentación.

La mezcla de coagulante Hidrocoloide *Nostoc Sphaericum* / Sulfato de Aluminio, presentó buena remoción de color 73.96% y turbiedad 51.47% en medio ácido, evidenciando el efecto del pH y la naturaleza del coagulante.

La dosis de Hidrocoloide *Nostoc Sphaericum* / Sulfato de Aluminio, reportaron alto porcentaje de remoción de DQO 95.41% y COT 46.67% en medio ácido, alcanzando valores inferiores a la normativa vigente para efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales (DQO  $\leq$  200 mg/L), a diferencia de la DBO<sub>5</sub>, que presentó menor porcentaje de remoción 22.73% respecto a los tratamientos realizados debido a la naturaleza del agua residual artificial que se mostró con una considerable actividad biológica, además de un alto grado de biodegradabilidad ( $> 0.7$ ).

El contenido de sólidos del agua residual artificial tratada, presentó remoción del 18.83% y 65.98%, para los SST y STD, respectivamente, lo que sugiere que la eficiencia del coagulante *Nostoc Sphaericum* / Sulfato de Aluminio fue afectada por el alto contenido de materia orgánica. La correlación de Pearson indicó que la materia orgánica presente en el agua residual artificial, generó efectos significativos en la eficiencia del coagulante *Nostoc Sphaericum* / Sulfato de Aluminio.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar la eficiencia del Hidrocoloide *Nostoc Sphaericum*, para la remoción de contaminantes provenientes de agua residual doméstica real.
- Se recomienda aplicar el Hidrocoloide *Nostoc Sphaericum*, para el tratamiento de aguas residuales provenientes de minas debido a sus características estructurales.
- Se recomienda realizar más investigación en cuanto a los contaminantes presentes en el agua residual doméstica, las cuales requieren de tratamientos más avanzados de acuerdo a los contaminantes presentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aftab, K., Hameed, S., Umbreen, H., Ali, S., Rizwan, M., Alkahtani, S., & Mohamed, M. (2020). Physicochemical and Functional Potential of Hydrocolloids Extracted from Some Solanaceae Plants. *Journal of Chemistry*, 9, 1–9.
- Aguilar, M., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales, coagulación-floculación. In *España*.
- Alberto, F., Villa, A., & Anaguano, A. (2013). Determinación del punto de carga cero y punto isoeléctrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 27–36.
- Alvarado, S., & Rodriguez, B. (2017). Efecto del consumo de hierro contenido en la Murmunta (*Nostoc sphaericum*) en la recuperación de ratas con anemia inducida, Arequipa, 2017. In *Repositorio Institucional - UNSA, Arequipa, Perú, Tesis de pregrado*.
- Amaringo, F., & Hormaza, A. (2013). Determinación del punto de carga cero y punto isoeléctrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4, 27–36.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. *SEDAPAL*, 1–44.
- APHA. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In *American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF)* (22nd ed.).
- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. In *Escuela Colombiana de Ingeniería*.
- Belén, R. (2021). Carbono Orgánico Total. *Seminarios de La Reunión Semanal Del CUEM*, 1–2.
- Benedict, I., Torsabo, D., Engku, C., Wahab, F., Abdullah, S., Hassan, H., & Kasan, N. (2023). A study on the recovery and characterization of suspended solid from aquaculture wastewater through coagulation/flocculation using chitosan and its viability as organic fertilizer. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 1–12.
- Bertus, L., & Carcel, R. (2011). Prediction of TiO<sub>2</sub> and WO<sub>3</sub> nanopowders surface charge by the evaluation of point of zero charge (PZC). *Environmental Engineering and Management*

*Journal*, 10(8), 1021–1026.

- Burey, P., Bhandari, B. R., Howes, T., & Gidley, M. J. (2008). Hydrocolloid gel particles: Formation, characterization, and application. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(5), 361–377.
- Caracas, A., & Landazury, K. (2019). Evaluación de la eficiencia de la semilla de Moringa Olifeifera (MO) como coadyuvante natural en los procesos de coagulación-floculación del sistema de tratamiento de agua potable de la empresa de acueducto y alcantarillado del río Palo Earpa S.A. E.S.P.,. In *Repositorio Institucional - CUAC, Cauca - Colombia, Tesis de pregrado* (Vol. 8, Issue 5).
- Carneiro, M., Cerqueira, M., Souza, B., Teixeira, J., & Vicente, A. (2011). Influence of concentration, ionic strength and pH on zeta potential and mean hydrodynamic diameter of edible polysaccharide solutions envisaged for multilayered films production. *Carbohydrate Polymers*, 85(3), 522–528.
- Carrión, L. (2018). Influencia del tratamiento primario, del proceso de potabilización, en el Aluminio residual presente en el agua tratada, según sectores de abastecimiento, en la ciudad de Moyobamba. In *Repositorio Institucional - UNSM, Tarapoto, San Martin-Peru, Tesis de pregrado*.
- Chigor, V., Sibanda, T., & Okoh, A. (2013). Variations in the physicochemical characteristics of the Buffalo River in the Eastern Cape Province of South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10), 8733–8747.
- Choque, D., Mojo, A., Ligarda, C., Calla, M., Ramos, B., Zamalloa, L., Peralta, D., Solano, A., Choque, Y., Zamalloa, A., Palomino, Y., Medina, L., & Kari, A. (2022). Preliminary Characterization of a Spray-Dried Hydrocolloid from a High Andean Algae (*Nostoc sphaericum*). *Foods*, 11(11), 1640–1655.
- Chulluncuy, C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Rev. Ulima-Ingeniería*, 29, 153–170.
- Córdova, P., Calderon, D., & Argota, G. (2018). Medición del coeficiente de transferencia del oxígeno en aguas residuales. *Universidad Nacional San Luis Gonzaga Ica*.

- Corpus, A., Alcantara, M., Celis, H., Echevarria, B., Paredes, J., & Paucar, L. (2021). Cushuro(*Nostoc sphaericum*): Habitat, physicochemical characteristics, nutritional composition, forms of consumption and medicinal properties. *Agroindustrial Science*, 11(2), 231–238.
- Dhirendra, J., Bhandari, N., Alok, K., & Agrawal, N. (2009). Statistical analysis of physicochemical parameters of water of River Ganga in Haridwar district. *Rasayan Journal of Chemistry*, 2(3), 579–587.
- Ding, L., Wu, C., Deng, H., & Zhang, X. (2012). Adsorptive characteristics of phosphate from aqueous solutions by M1EX resin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 376(1), 224–232.
- Eugenia, S., Ruiz, Y., & Carvajal, E. (2007). A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *ICIDCA*.
- Grasel, F., Ferrão, M., & Wolf, C. (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.
- Gulicovski, J., Čerović, L., & Milonjić, K. (2008). Point of zero charge and isoelectric point of alumina. *Materials and Manufacturing Processes*, 23(6), 615–619.
- Hernandez, A. (2001). Depuración y desinfección de aguas residuales. In *Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos* (Vol. 1).
- Hernández, R. (2018). Metodología de la investigación. In *News.Ge* (6th ed.).
- Herrera, R. (2012). Evaluación de los exopolisacáridos producidos por una cepa nativa de cianobacteria *Nostoc sp.* como sustrato en la producción de bioetanol. In *Repositorio Institucional - ICN, Bogotá, Colombia, Tesis de pregrado*.
- Hurtado, A. (2019). Polisacárido de gel de Aloe Vera L. como floculante en tratamiento de aguas. In *Repositorio Institucional - UNSAAC, Tesis de Pregrado*. Universidad de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Ibarra, D., Lizardi, J., López, E., & Oropeza, M. (2017). Capacity of 'nopal' pectin as a dual coagulant-flocculant agent for heavy metals removal. *Chemical Engineering Journal*, 323, 19–28.

- Ihaddaden, S., Aberkane, D., Boukerroui, A., & Robert, D. (2022). Removal of methylene blue (basic dye) by coagulation-flocculation with biomaterials (bentonite and *Opuntia ficus indica*). *Journal of Water Process Engineering*, 49, 10–29.
- Jiaping, L., Xixi, C., Mengru, T., & Shaoyun, W. (2015). Preparation and Evaluation of the Chelating Nanocomposite Fabricated with Marine Algae *Schizochytrium* sp. Protein Hydrolysate and Calcium. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(44), 9704–9714.
- Kang, D., So, Y. H., Park, K., Kim, I., & Kim, B.-W. (2019). Analyses of TOC Efficiency and Correlation between DO, BOD, COD and Influence Factors using Long-term Observation Data in the Main Stream of Nakdong River. *Journal of Environmental Science International*, 28(5), 465–474.
- Li, L., Zhang, H., & Pan, G. (2015). Influence of zeta potential on the flocculation of cyanobacteria cells using chitosan modified soil. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 28, 47–53.
- Ligarda, C., Choque, D., Palomino, H., Ramos, B., Moscoso, E., Huaman, M., & Peralta, D. (2022). Modified Polymeric Biosorbents from *Rumex acetosella* for the Removal of Heavy Metals in Wastewater. *Polymers*, 1–19.
- Linares, I., Martínez, V., Barrera, C., Pavón, S., Bernal, L., & Lugo, V. (2011). Oxidación De Materia Orgánica Persistente En Aguas Residuales Industriales Mediante Tratamientos. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 2(1), 21–36.
- López, E., Oropeza, M., Jurado, J., & Ochoa, A. (2014). Coagulation-flocculation mechanisms in wastewater treatment plants through zeta potential measurements. *Journal of Hazardous Materials*, 279, 1–10.
- Lozano, W. (2013). Calidad fisicoquímica del agua: métodos simplificados para su muestreo y análisis. In *Repositorio Institucional - UPC, Bogotá, Colombia, Tesis de pregrado*.
- Manahan, S. (2007). Introducción a la química ambiental. In *Mexico: Reverté S. A.*
- Martinez, E., Rodriguez, F., Shruti, C., Sujitha, B., Morales, S., & Muñoz, P. (2017). Monitoring the seasonal dynamics of physicochemical parameters from Atoyac River basin (Puebla), Central Mexico: multivariate approach. *Environmental Earth Sciences*, 76(2).
- Másmela, A., & Aguilar, N. (2017). Evaluación de almidón de *Manihot Esculenta* (Yuca) y *Musa*

- ABB Simmonds (Plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en la PTARD del Parque Agroindustrial de Occidente - PAO. In *Repositorio Institucional -UNAD, Colombia, Tesis de pregrado*.
- Medina, S., Zuluaga, C., Fernández, J., & Hernández, M. (2022). Nonconventional Hydrocolloids' Technological and Functional Potential for Food Applications. *Foods*, 11(3), 1–33.
- MINAM. (2010). Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *El Peruano*, 202472, 11.
- National Center for Biotechnology Information. (2014). National Center for Biotechnology Information. In *Taxonomy*.
- Navarro, A., Ramos, K., Campos, K., Llanos, B., & Maldonado, H. (2005). Contribución del pH en la Remoción de Iones Tóxicos de Soluciones Acuosas. *Revista de Química*, 19(2), 53–59.
- Nieto, S., Toro, N., Robles, P., Gálvez, E., Gallegos, S., & Jeldres, R. (2022). Flocculation of Clay-Based Tailings: Differences of Kaolin and Sodium Montmorillonite in Salt Medium. *Materials*, 15(3), 1–16.
- Nopens, I., Capalozza, C., & Vanrolleghem, P. (2001). Stability analysis of a synthetic municipal wastewater. *Department of Applied Mathematics, Biometrics and Process Control University Gent*, 1–22.
- Novillo, D., Carrillo, M., Crgua, E., Nabel, V., Albán, E., & Morales, L. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Rios, Ecuador. *TEMAS AGRARIOS*, 23, 177–187.
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en Aguas Residuales. In *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*.
- OEFA. (2015). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Lima: Biblioteca Nacional Del Perú*.
- Orellana, J. (2014). Tratamiento de las aguas, unidad temática número seis. *Ingeniería Sanitaria. Chile*.
- Pedrerros, C., Valderrama, K., Agudelo, R., Pérez, K., & Campo, C. (2021). Reducción de la concentración de DQO y COT en aguas residuales de la industria farmacéutica empleando

- ozono catalizado por Fe<sup>2+</sup>. Estudio de caso a escala real. *Revista Mutis*, 11(2), 56–63.
- Phillips, G., Williams, P., & Stephen, A. (2006). Food Polysaccharides and Their Applications. In *Trends in Food Science & Technology* (Vol. 7, Issue 6).
- Pomalaza, F., & Victoria, M. (2016). "Optimización Del Método De Coagulación-Floculación Para La Remoción De Arsénico De Fuentes De Agua Potable Empleando Sulfato De Aluminio Tipo a." In *Repositorio institucional - UNCP, Huancayo-Perú, Tesis de pregrado*.
- Ponce, E. (2014). Nostoc: un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica. *IDESIA (Chile)*, 32, 115–118.
- Ramirez, M. (2019). Dosis óptima del coagulante de semillas de Tamarindus indica para mejorar la calidad del agua del río Reque - Lambayeque. In *Repositorio Institucional - UCV, Lima, Perú, Tesis de pregrado* (Vol. 1, Issue 69). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Razavi, S. (2019). Introduction to emerging natural hydrocolloids. *Emerging Natural Hydrocolloids: Rheology and Functions*, 5, 1–52.
- Rodríguez, G. (2006). Depuración de aguas residuales: modelización de procesos de lodos activos. *Madrid: CSIC*.
- Rojas, S., & Sastoque, Y. (2007). Desarrollo de un prototipo de un instrumento nefelométrico para medir turbidez. In *Repositorio Institucional - USB, Bogotá, Colombia, Tesis de pregrado*.
- Romero, J. (2009). Calidad del agua. In *Escuela Colombiana de Ingeniería: Vol. 3a. ed.*
- Rubio, A. (2018). Evaluación de la producción de Nostoc sp (cushuro) en cochas construidas a diferentes profundidades dentro de un ecosistema de humedal, en el sector Carpa, distrito de Catac-Ancash, 2017-2018. In *Repositorio Institucional - UNASAM, Huaráz, Ancash-Perú, Tesis de pregrado*.
- Salopek, B., Krasic, D., & Filipovic, S. (1992). Measurement and application of zeta-potential. *Rudarsko-Geolosko-Naftni Zbornik*, 4, 147–151.
- Samame, J. (2016). Determinar la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada del distrito de Pedro Ruiz Gallo. In *Repositorio Institucional -*

UNTRM, Chachapoyas, Amazonas-Perú, Tesis de pregrado.

- Severiche, C. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. *Bogotá: Sólidos Suspendidos Totales*.
- Shen, X. (2016). Molecularly Imprinted Photocatalysts. In *Molecularly Imprinted Catalysts: Principles, Syntheses, and Applications*. Elsevier Inc.
- Shi Gang, S., Ya Hui, L., Dong Xue, Z., Yi Kai, W., & Rong, Y. (2019). Comparisons of functional properties of polysaccharides from nostoc flagelliforme under three culture conditions. *Polymers, 11*(2).
- Smotraiev, R., Nehrii, A., Koltsova, E., Anohina, A., Sorochkina, K., & Ratnaweera, H. (2022). Comparison of wastewater coagulation efficiency of pre-polymerised zirconium and traditional aluminium coagulants. *Journal of Water Process Engineering, 47*, 1–9.
- Song, Z., Zhang, Y., Wen, P., Wang, Y., Qiao, H., Zhang, W., & Zhang, Z. (2022). Effect of pH on the coagulation properties of Tenebrio molitor coagulant. *International Journal of Food Science & Technology, 57*(3), 1630–1643.
- Terrones, L. (2019). Determinación de la eficiencia de floculación en la mezcla de (Aloe vera y citrus reticulata) para la disminución de la turbidez en las aguas del río chico, del distrito de San Silvestre de Cochán, provincia de San Miguel, región Cajamarca – 2018. In *Repositorio Institucional - UPAGU, Cajamarca, Perú, Tesis de pregrado*.
- Torres, A., Yupanqui, C., Castro, V., Aguirre, E., Villanueva, E., & Rodríguez, G. (2020). Comparison of the hydrocolloids Nostoc commune and Nostoc sphaericum: Drying, spectroscopy, rheology and application in nectar. *Scientia Agropecuaria, 11*(4), 583–589.
- Trapote, A. (2013). Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas. In *Universidad de Alicante* (pp. 137–144).
- UNESCO. (2017). Aguas residuales el recurso desaprovechado. In *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - París*.
- Weber, W. (2013). Control de la calidad del agua. Porcesos fisicoquímicos. In *Paper Knowledge*.
- Yaniris, L. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA*.

*Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar, XL(2), 10–17.*

Yaseen, E., Aramouni, H., & Alavi, S. (2005). Rheological properties of selected gum solutions. *Food Research International*, 111–119.

## ANEXOS

### Anexo 1. ANOVA y prueba de comparaciones múltiples Tukey para color

#### ANOVA para color

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P
Tratamientos	5	2539062	507812	2969.66	0.0000
Error	12	2052	171		
Total	17	2541114			

#### Prueba de comparaciones múltiples Tukey para color

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TC	3	1404	A
TC	3	1083	B
T4	3	762	C
T3	3	717	D
T2	3	444	E
T1	3	282	F

### Anexo 2. ANOVA y prueba de comparaciones múltiples Tukey para turbiedad

#### ANOVA para turbiedad

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P
Tratamientos	5	4161.8	832.361	1323.54	0.0000
Error	12	7.55	0.629		
Total	17	4169.35			

#### Prueba de comparaciones múltiples Tukey para turbiedad

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TC	3	77.267	A
TC	3	72.5	B
T3	3	54.1	C
T4	3	52.4	C
T1	3	38.5	D
T2	3	37.5	D

### Anexo 3. ANOVA y prueba de comparaciones múltiples Tukey para SST

#### ANOVA para SST

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P
Tratamientos	5	7257.72	1451.54	318.85	0.0000
Error	12	54.63	4.55		
Total	17	7312.35			

#### Prueba de comparaciones múltiples Tukey para SST

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TC	3	80.83	A
TC	3	80	A
T1	3	48.333	B
T3	3	42.22	C
T2	3	41.667	C
T4	3	27.5	D

### Anexo 4. ANOVA y prueba de comparaciones múltiples Tukey para TDS

#### ANOVA para TDS

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P
Tratamientos	5	20198.7	4039.73	2796.74	0.0000
Error	12	17.3	1.44		
Total	17	20216			

#### Prueba de comparaciones múltiples Tukey para TDS

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TC	3	187.67	A
T4	3	152.333	B
T3	3	150.667	B
TC	3	119	C
T2	3	95.667	D
T1	3	94.667	D

## Anexo 5. ANOVA y prueba de comparaciones múltiples Tukey para DBO<sub>5</sub>

### ANOVA para DBO<sub>5</sub>

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P
Tratamientos	5	29536	5907.2	*	*
Error	12	0	0		
Total	17	29536			

### Prueba de comparaciones múltiples Tukey para DBO<sub>5</sub>

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TC	3	500	A
TC	3	484	B
T1	3	474	C
T2	3	468	D
T4	3	464	E
T3	3	374	F

## Anexo 6. ANOVA y prueba de comparaciones múltiples Tukey para DQO

### ANOVA para DQO

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P
Tratamientos	5	16522.5	3304.5	3251860.99	0.0000
Error	12	0	0		
Total	17	16522.5			

### Prueba de comparaciones múltiples Tukey para DQO

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TC	3	93.5093	A
TC	3	41.9574	B
T4	3	24.2056	C
T3	3	20.7241	D
T2	3	8.9204	E
T1	3	1.9254	F

### Anexo 7. ANOVA y prueba de comparaciones múltiples Tukey para COT

#### ANOVA para COT

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P
Tratamientos	5	0.006091	0.001218	574.51	0.0000
Error	12	0.000025	0.000002		
Total	17	0.006117			

#### Prueba de comparaciones múltiples Tukey para COT

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
TC	3	0.056427	A
T2	3	0.03973	B
T1	3	0.0301	C
TC	3	0.01089	D
T3	3	0.008812	D E
T4	3	0.006565	E

### Anexo 8. ANOVA y prueba de comparaciones múltiples Tukey para Potencial $\zeta$

#### ANOVA para Potencial $\zeta$

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P
Tratamientos	5	650.028	130.006	288.92	0.0000
Error	12	5.4	0.45		
Total	17	655.428			

#### Prueba de comparaciones múltiples Tukey para Potencial $\zeta$

Tratamientos	casos	Media	Grupos Homogéneos
T2	3	-10.15	A
T1	3	-11.27	A
T3	3	-11.3	A
T4	3	-15.233	B
TC	3	-22.522	C
TC	3	-25.74	D

## Anexo 9. ANOVA y prueba de comparaciones múltiples Tukey para Tamaño de partícula

### ANOVA para Tamaño de partícula

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P
Tratamientos	5	14530.5	2906.09	90.31	0.0000
Error	12	386.1	32.18		
Total	17	14916.6			

### Prueba de comparaciones múltiples Tukey para Tamaño de partícula

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T1	3	160.85	A
TC	3	158.4	A
T2	3	154.63	A
TC	3	122.1	B
T3	3	120.99	B
T4	3	81.12	C

## Anexo 10. Panel fotográfico

**Imagen 1.** Pesado de componentes del agua residual artificial



**Imagen 2.** Lectura del pH



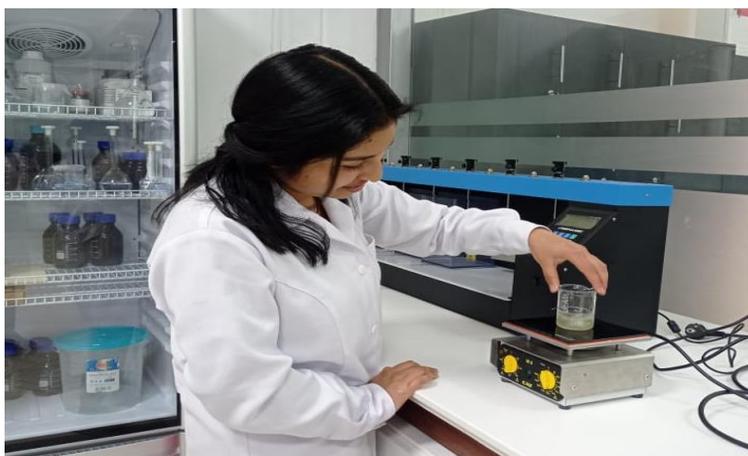
**Imagen 3.** Incubación del agua residual artificial



**Imagen 4.** Determinación del tamaño de partícula



**Imagen 5.** Preparación de muestras para determinar tamaño de partícula y potencial  $\zeta$



**Imagen 6.** Pesado del Hidrocoloide *Nostoc Sphaericum*



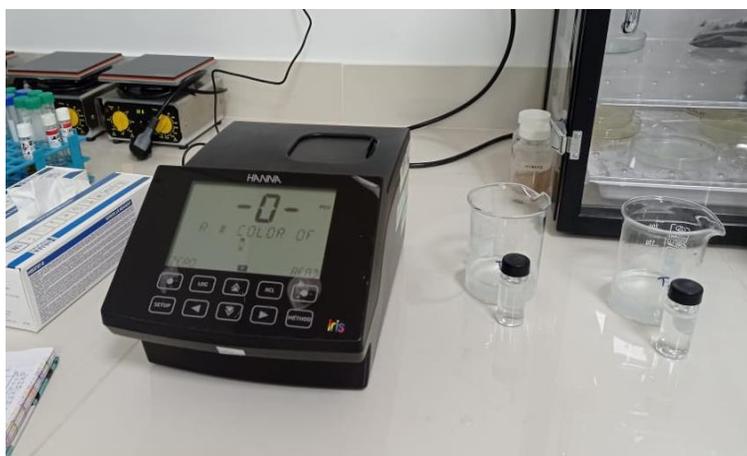
**Imagen 7.** Preparación e inserción del coagulante Hidrocoloide *Nostoc Sphaericum* / Sulfato de Aluminio



**Imagen 8.** Prueba de jarras



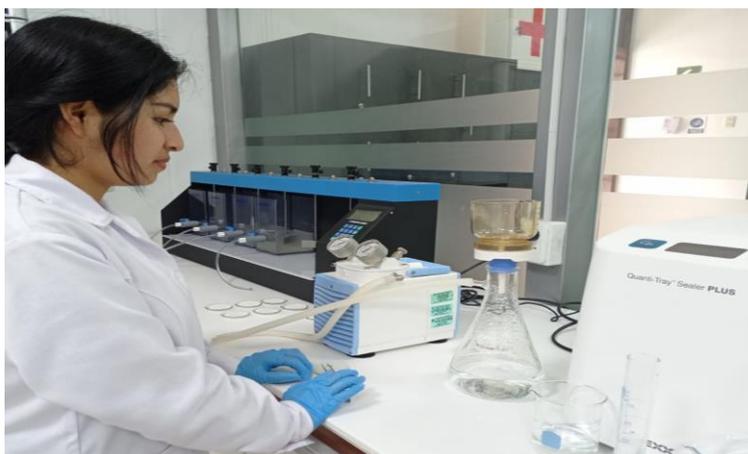
**Imagen 9.** Lectura del color del agua



**Imagen 10.** Pesado de filtros para determinar Sólidos Suspendidos Totales



**Imagen 11.** Filtrado del agua para determinar Sólidos Suspendidos Totales



**Imagen 12.** Digestión de reactivos para determinar Demanda Química de Oxígeno



## Anexo 11. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿Cuál es el efecto de la dosis y pH en la capacidad floculante del hidrocoloide extraído de un alga altoandina (<i>Nostoc Sphaericum</i>) en el tratamiento de agua residual artificial?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Evaluar el efecto de la dosis y pH en la capacidad floculante del hidrocoloide extraído de un alga altoandina (<i>Nostoc Sphaericum</i>) en el tratamiento de agua residual artificial</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> La dosis y el pH aplicado permite conocer la cantidad adecuada de hidrocoloide necesario para el tratamiento de agua residual artificial</p>	<p><b>Variables independientes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosis de hidrocoloide</li> <li>• pH del agua residual</li> </ul> <p><b>Variables dependientes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parámetros físicos</li> <li>• Parámetros químicos</li> <li>• Sólidos</li> </ul>	<p><b>Tipo:</b> Aplicada <b>Nivel:</b> Experimental <b>Diseño:</b> Factorial a dos niveles <b>POBLACION Y MUESTRA</b> <b>Población:</b> Agua residual artificial preparada para el análisis <b>Muestra:</b> Agua residual artificial analizada <b>Muestreo:</b> No probabilístico</p>
<p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles serán los grupos funcionales, punto de carga cero, potencial <math>\zeta</math> y tamaño de partícula del hidrocoloide?</li> <li>• ¿Cuál es el efecto de la dosis y pH en las propiedades físicas del agua residual tratada con el hidrocoloide?</li> <li>• ¿Cuál es el efecto de la dosis y pH en las propiedades químicas del agua residual tratada con el hidrocoloide?</li> <li>• ¿Cuál es el porcentaje de remoción de sólidos al aplicar el hidrocoloide en el tratamiento de agua residual artificial?</li> </ul>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar los grupos funcionales, punto de carga cero, potencial <math>\zeta</math> y tamaño de partícula del hidrocoloide</li> <li>• Determinar el efecto de la dosis y pH en las propiedades físicas del agua residual tratada con el hidrocoloide</li> <li>• Determinar el efecto de la dosis y pH en las propiedades químicas del agua residual tratada con el hidrocoloide</li> <li>• Determinar porcentaje de remoción de sólidos al aplicar el hidrocoloide en el tratamiento de agua residual artificial</li> </ul>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El hidrocoloide presenta inestabilidad en medio ácido, además presenta tamaño de partícula y grupos funcionales correspondientes a polisacáridos</li> <li>• La adición del hidrocoloide y la variación de pH permite modificar considerablemente las características físicas del agua residual</li> <li>• La adición del hidrocoloide y la variación de pH permite modificar considerablemente las características químicas del agua residual</li> <li>• El hidrocoloide presenta un significativo porcentaje de remoción de sólidos en el tratamiento de agua residual</li> </ul>	<p><b>DIMENSIONES E INDICADORES</b></p> <p><b>Dosis de hidrocoloide</b></p> <p><b>pH</b></p> <p><b>Parámetros fisicoquímicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbiedad</li> <li>• Color</li> <li>• Demanda Bioquímica de Oxígeno</li> <li>• Demanda Química de Oxígeno</li> <li>• Potencial de Hidrógeno</li> <li>• Carbono Orgánico Total</li> </ul> <p><b>Sólidos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos Suspendedos Totales</li> <li>• Sólidos Disueltos Totales</li> </ul>	<p><b>TÉCNICAS</b></p> <p><b>INSTRUMENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS</b></p> <p><b>Técnicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de los grupos funcionales por Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)</li> <li>• Punto de Carga Cero</li> <li>• Tamaño de partícula</li> <li>• Potencial zeta <math>\zeta</math></li> <li>• Preparación del agua residual artificial</li> <li>• Procedimiento de tratamiento de coagulación-floculación</li> <li>• Parámetros fisicoquímicos del agua</li> <li>• Porcentaje de remoción de sólidos</li> </ul> <p><b>Procesamiento de datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de varianza</li> <li>• Correlación de Pearson</li> </ul>

