

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



Presentado por:

**LESLIE CHAVELY VELARDE CHUMBE**

**EFFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE NANOARCILLA ACTIVADA EN LA REMOCIÓN DE LA SANGRE DE AGUAS RESIDUALES: CASO PRÁCTICO – CAMAL DE SAN JERÓNIMO, ANDAHUAYLAS**

Asesor:

**Dr. DAVID CHOQUE QUISPE**

Co – Asesor:

**Dra. YUDITH CHOQUE QUISPE**

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

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ**

**2023**

**FINANCIADO POR EL VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNAJMA**



## APROBACIÓN DEL ASESOR

Quién suscribe:

ING. DAVID CHOQUE QUISPE, por la presente:

### CERTIFICA

Que, la Bachiller en Ingeniería Ambiental de acuerdo a la RESOLUCIÓN N°0182-2023-CO-UNAJMA, Leslie Chavely Velarde Chumbe, **ha culminado de manera satisfactoria del Informe Final de Tesis intitulado:**

“EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE NANOARCILLA ACTIVADA EN LA REMOCIÓN DE LA SANGRE DE AGUAS RESIDUALES: CASO PRÁCTICO – CAMAL DE SAN JERÓNIMO, ANDAHUAYLAS”, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Andahuaylas, 03 de agosto de 2023

---

Ing. David Choque Quispe, Dr.

Asesor

---

Leslie Chavely Velarde Chumbe

Bachiller



## APROBACIÓN DEL CO - ASESOR

Quién suscribe:

ING. YUDITH CHOQUE QUISPE, por la presente:

### CERTIFICA

Que, la Bachiller en Ingeniería Ambiental de acuerdo a la RESOLUCIÓN N°0182-2023-CO-UNAJMA, Leslie Chavely Velarde Chumbe, **ha culminado de manera satisfactoria del Informe Final de Tesis intitulado:**

“EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE NANOARCILLA ACTIVADA EN LA REMOCIÓN DE LA SANGRE DE AGUAS RESIDUALES: CASO PRÁCTICO – CAMAL DE SAN JERÓNIMO, ANDAHUAYLAS”, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Andahuaylas, 03 de agosto de 2023

Ing. Yudit Choque Quispe, Dr.

Asesor

Leslie Chavely Velarde Chumbe

Bachiller



# Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo

## FACULTAD DE INGENIERIA

### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la Av. José María Arguedas del Local Académico SL01 (Ccoyahuacho) en el auditorio del Departamento Académico de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de San Jerónimo de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 12:30 horas del día 13 de setiembre del año 2023, se reunieron los docentes: Dra. Julia Iraida Ortiz Guizado, Mag. Yakov Felipe Carhuarupay Molleda, Mtro. Edward Arostegui Leon, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EFECTO DE PH Y LA CONCENTRACIÓN DE LA NANOARCILLA ACTIVADA EN LA REMOCIÓN DE LA SANGRE DE AGUAS RESIDUALES: CASO PRÁCTICO -CAMAL DE SAN JERÓNIMO, ANDAHUAYLAS", cuya autora es la Bachiller en Ingeniería Ambiental **LESLIE CHAVELY VELARDE CHUMBE**, el asesor Dr. David Choque Quispe y Co- Asesora 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: APROBADO** por **UNANIMIDAD** a la Bachiller en Ingeniería Ambiental **LESLIE CHAVELY VELARDE CHUMBE**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
18	DIECIOCHO	EXCELENTE

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

Dra. Julia Iraida Ortiz Guizado  
Presidente del Jurado Evaluador

Mag. Yakov Felipe Carhuarupay Molleda  
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Mtro. Edward Arostegui Leon  
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



## APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

La tesis: **“EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE NANOARCILLA ACTIVADA EN LA REMOCIÓN DE LA SANGRE DE AGUAS RESIDUALES: CASO PRÁCTICO – CAMAL DE SAN JERÓNIMO, ANDAHUAYLAS”**, para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**, ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

PRESIDENTE: Dra. Julia Iraida Ortiz Guizado

PRIMER MIEMBRO: Mg. Yakov Felipe Carhuarupay Molleda

SEGUNDO MIEMBRO: Mg. Edward Arostegui Leon

Habiendo sido aprobada por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 13 del mes de septiembre de 2023

Andahuaylas, 18 de septiembre de 2023

\_\_\_\_\_  
Dra. Julia Iraida Ortiz Guizado

Presidente de Jurado

\_\_\_\_\_  
Mg. Yakov Felipe Carhuarupay Molleda

Primer miembro

\_\_\_\_\_  
Mg. Edward Arostegui Leon

Segundo miembro



# Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo

Unidad de Investigación de la Facultad Ingeniería  
C015-2023

Andahuaylas, 10 de octubre 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 del PH y la concentración de nanoarcilla activada en la remoción de la sangre de aguas residuales: caso práctico – camal de San Jerónimo, Andahuaylas. Presentado por la Bach. Leslie Chavely Velarde Chumbe cuyo Asesor es el Dr. David 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

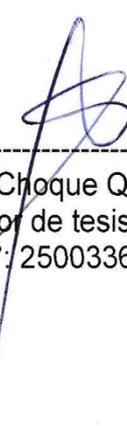
M.Sc. Richard Carrión Abollaneda  
Miembro de la  
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

## INFORME DE ORIGINALIDAD

El que suscribe asesor del trabajo de investigación/tesis, titulada  
**“EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE NANOARCILLA ACTIVADA  
EN LA REMOCIÓN DE LA SANGRE DE AGUAS RESIDUALES: CASO  
PRÁCTICO – CAMAL DE SAN JERÓNIMO, ANDAHUAYLAS”** presentado por  
la **Br. Leslie Chavely Velarde Chumbe**, con DNI N° **76592871**, de la Escuela  
Profesional **de Ingeniería Ambiental**, para optar el título profesional de  
**Ingeniero Ambiental**.

Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando  
el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, conforme al  
reglamento vigente, verificándose un porcentaje de **7% de similitud general**.  
Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de  
conformidad y adjunto el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 18 de septiembre de 2023



---

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

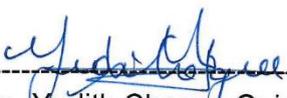
## INFORME DE ORIGINALIDAD

La que suscribe Co - asesora del trabajo de investigación/tesis, titulada **“EFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN DE NANOARCILLA ACTIVADA EN LA REMOCIÓN DE LA SANGRE DE AGUAS RESIDUALES: CASO PRÁCTICO – CAMAL DE SAN JERÓNIMO, ANDAHUAYLAS”** presentado por la **Br. Leslie Chavely Velarde Chumbe**, con DNI N° **76592871**, de la Escuela Profesional de **Ingeniería Ambiental**, para optar el título profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, conforme al reglamento vigente, verificándose un porcentaje de **7% de similitud general**.

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 18 de septiembre de 2023

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

Se adjunta:

1. Reporte firmado, generado por el software.

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DEL PH Y LA CONCENTRACIÓN  
DE NANOARCILLA ACTIVADA EN LA RE  
MOCIÓN DE LA SANGRE DE AGUAS RESI  
DU**

AUTOR

**LESLIE CHAVELY VELARDE CHUMBE**

RECUENTO DE PALABRAS

**29409 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**155946 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**134 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**8.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 3, 2023 4:02 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 3, 2023 4:08 PM GMT-5**

● **7% de similitud general**

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

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)

*Yudith Choque*  
42933337  
Yudith Choque Q.

*Leslie Chumbe*

*David Choque Quipe*  
Msc. David Choque Quipe  
C.I.P. N° 75470

## Reporte de similitud

## ● 7% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% 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>psasir.upm.edu.my</b>	Internet	<1%
2	<b>repositorio.uap.edu.pe</b>	Internet	<1%
3	<b>repositorio.unajma.edu.pe</b>	Internet	<1%
4	<b>dspace.ucuenca.edu.ec</b>	Internet	<1%
5	<b>link.springer.com</b>	Internet	<1%
6	<b>cienciadigital.org</b>	Internet	<1%
7	<b>mdpi.com</b>	Internet	<1%
8	<b>hdl.handle.net</b>	Internet	<1%
9	<b>dspace.ups.edu.ec</b>	Internet	<1%

*David Choque Quispe*  
42932337

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

*Reservado*

## Reporte de similitud

10	<b>repositorio.uta.edu.ec</b>	Internet	<1%
11	<b>repositorio.upt.edu.pe</b>	Internet	<1%
12	<b>repositorio.undac.edu.pe</b>	Internet	<1%
13	<b>wateruse.org.ua</b>	Internet	<1%
14	<b>wanglab-tsinghua.com</b>	Internet	<1%
15	<b>minsocam.org</b>	Internet	<1%
16	<b>repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080</b>	Internet	<1%
17	<b>repositorio.unesum.edu.ec</b>	Internet	<1%
18	<b>journal.universitaspahlawan.ac.id</b>	Internet	<1%
19	<b>coggle.it</b>	Internet	<1%
20	<b>hal.univ-lorraine.fr</b>	Internet	<1%
21	<b>journals.uran.ua</b>	Internet	<1%

*[Handwritten signature]*  
42933337

*[Handwritten signature]*  
Ing. Msc. David Choque Quispe  
C.I.P. N° 75470

*[Handwritten signature]*

## Reporte de similitud

22	<b>revista.ismm.edu.cu</b>	Internet	<1%
23	<b>revistas.unal.edu.co</b>	Internet	<1%
24	<b>Dina Alexandra Martins, Manuel Simões, Luís Melo. "ADSORPTION OF ...</b>	Crossref	<1%
25	<b>novasinerгия.unach.edu.ec</b>	Internet	<1%
26	<b>repositorio.espe.edu.ec</b>	Internet	<1%
27	<b>Egi Agustian, Nino Rinaldi, Adid Adep Dwiatmoko, Ariadne L. Juwono. "...</b>	Crossref	<1%
28	<b>sired.udenar.edu.co</b>	Internet	<1%
29	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b>	Internet	<1%
30	<b>coursehero.com</b>	Internet	<1%
31	<b>deboni.he.com.br</b>	Internet	<1%
32	<b>dspace.uce.edu.ec</b>	Internet	<1%
33	<b>Md. Koushic Uddin, Md. Zulhash Uddin, Maisha Ibnat Mumu, Raihan Al-...</b>	Crossref	<1%

*Yusuf M. Qureshi*  
42933337

*[Signature]*  
C.I.B.N. 75470  
Prof. MSc. Dr. David Chopra Durrani

*[Handwritten signature]*

## Reporte de similitud

34	<b>cia.uagraria.edu.ec</b>	Internet	<1%
35	<b>iwaponline.com</b>	Internet	<1%
36	<b>slideshare.net</b>	Internet	<1%
37	<b>Bappi Chowdhury, Long Lin, Bipro Ranjan Dhar, Mohammad Nazrul Isla...</b>	Crossref	<1%
38	<b>eprints.uanl.mx</b>	Internet	<1%
39	<b>tel.archives-ouvertes.fr</b>	Internet	<1%
40	<b>bibliotecadigital.oducal.com</b>	Internet	<1%
41	<b>Fatima Ezzahra Titchou, Rachid Ait Akbour, Ali Assabbane, Mohamed ...</b>	Crossref	<1%
42	<b>victorbautistadiazquimico.com</b>	Internet	<1%

*Judith Aroque*  
42933337  
Judith Aroque Q.

Ing. Msc. David Chaves Quiroga  
C.I.P. N° 75478

*Festine*

### **Dedicatoria**

*A Dios como mi principal fuente espiritual y al Niño Jesús de Turpo por ser tan milagroso y bendecir a mi familia.*

*A mi abuelita Rosa, a quien le debo todo lo que soy hoy en día, por su ejemplo de amor y sacrificio, que me acompaña y sonrío desde el cielo y a mi abuelita Remigia, por su preocupación y amor incondicional.*

*A mis padres, Hilda y julio, quienes con su ejemplo me enseñaron a ser perseverante y levantarme ante las adversidades de la vida.*

*A mis hermanos, Cynthia, Lissethe, Lourdes, Mayling, Gianella, Melissa y Lionel, quienes me han apoyado en todo momento.*

*A mis tíos, Tino y Silvia, por su preocupación y cariño, y sus consejos que me han servido para tomar mejores decisiones.*

## **Agradecimientos**

A mis padres, Hilda y Julio, por darme la vida, apoyarme en cada momento y educarme con mucho esfuerzo, a mi abuelita Rosa y Remigia, por criarme y acompañarme en cada momento de mi vida.

A la Universidad Nacional José María Arguedas y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por abrirme las puertas y darme la oportunidad de formarme profesionalmente, y a los diversos profesionales quienes me apoyaron y compartieron sus conocimientos.

Al Dr. David Choque Quispe y a la Dra. Yudith Choque Quispe, asesores que me encaminaron en este trabajo de investigación, por compartir sus conocimientos y apoyarme a través de sus consejos y enseñanzas.

Al Laboratorio de Investigación en Materiales Avanzados para el Tratamiento de Aguas y Alimentos (LIMTA) operado por la Dra. Betsy Suri Ramos, me brindaron las facilidades para poder realizar la investigación

Al Laboratorio de Investigación de Nanotecnología (LINA), operado por el Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez y la Ing. Elibet Moscoso Moscoso, por el apoyo en la investigación y brindarme todas las facilidades.

A los jurados evaluadores, Dra. Julia Iraida Ortiz Guizado, Mg. Yakov Felipe Carhuarupay Molleda y el Mg. Edward Arostegui Leon, quienes con sus aportes contribuyeron en la realización del presente trabajo de investigación.

## Índice de Contenidos

Aprobación del Asesor .....	ii
Aprobación del Co - Asesor .....	iii
Copia del acta de sustentación .....	iv
Aprobación del Jurado Evaluador .....	v
Resultados de informe de similitud de la Tesis .....	vi
Dedicatoria .....	xiv
Agradecimientos .....	xv
Índice de Contenidos .....	xvi
Índice de Figuras .....	xxi
Índice de Tablas .....	xxiv
Abreviaturas .....	xxvi
Resumen .....	1
Abstract .....	2
Chumasqa .....	3
Introducción .....	4
Capítulo 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 .....	8
1.3. Justificación de la Investigación.....	8

1.3.1. Justificación Teórica .....	8
1.3.2. Justificación Metodológica .....	8
1.3.3. Justificación Práctica y Aplicativa .....	9
1.4. Objetivos de la Investigación .....	9
1.4.1. Objetivo General.....	9
1.4.2. Objetivos Específicos .....	9
1.5. Formulación de la Hipótesis .....	9
1.5.1. Hipótesis General .....	9
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	10
Capítulo II: Antecedentes.....	11
2.1. Antecedentes Internacionales .....	11
2.2. Antecedentes Nacionales.....	14
Capítulo III: Marco Teórico.....	15
3.1. Bases Teóricas.....	15
3.1.1. Aguas Residuales.....	15
3.1.2. Sangre Animal .....	22
3.1.3. Arcilla .....	23
3.1.4. Adsorción .....	31
3.2. Marco Conceptual .....	36
Capítulo IV: Metodología de la Investigación .....	38
4.1. Tipo.....	38
4.2. Diseño de Investigación .....	38
4.3. Operacionalización de Variables .....	40

4.4.	Lugar de Ejecución.....	42
4.5.	Material de Estudio.....	42
4.5.1.	Población.....	42
4.5.2.	Muestra .....	42
4.5.3.	Muestreo.....	42
4.6.	Materiales, Equipos y Reactivos.....	42
4.6.1.	Materiales.....	43
4.6.2.	Equipos .....	44
4.6.3.	Reactivos.....	44
4.7.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	46
4.7.1.	Técnicas Experimentales.....	46
4.7.2.	Técnicas de Análisis.....	51
4.8.	Procesamiento y Análisis de Datos .....	55
4.8.1.	ANVA de Dos Factores con Interacciones.....	55
4.8.2.	Superficie de Respuesta.....	56
	Capítulo V: Resultados y Discusiones .....	57
5.1.	Punto de Carga Cero (PCC).....	57
5.2.	Potencial $\zeta$ .....	58
5.3.	Tamaño de Partícula .....	59
5.4.	Análisis FTIR.....	60
5.5.	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) .....	64
5.6.	Evaluación del pH.....	67
5.6.1.	Evaluación del pH del Agua Simulada Tratada con AN.....	67

5.6.2. Evaluación del pH del Agua Simulada Tratada con AA.....	69
5.7. Evaluación del Porcentaje de Remoción .....	71
5.7.1. Evaluación del Porcentaje de Remoción de Sangre del Agua Simulada Tratada con AN.....	71
5.7.2. Evaluación del Porcentaje de Remoción de Sangre del Agua Simulada Tratada con AA.....	73
5.8. Evaluación del Color del Agua.....	74
5.8.1. Índice de Color del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural .....	74
5.8.2. Índice de Color del Agua Simulada con Arcilla Activada .....	76
5.8.3. Diferencia de Color del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural.....	78
5.8.4. Diferencia de Color del Agua Simulada Tratada con Arcilla Activada .....	80
5.8.5. Remoción de Color en Unidades Platino – Cobalto (UPC) del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural .....	83
5.8.6. Remoción de Color en Unidades Platino – Cobalto (UPC) del Agua Simulada Tratada con AA.....	85
5.9. Evaluación de la Materia Orgánica .....	87
5.9.1. Remoción de la Demanda Química de Oxígeno del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural.....	87
5.9.2. Remoción de la Demanda Química de Oxígeno del Agua Simulada Tratada con Arcilla Activada .....	89
5.9.3. Evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Agua Simulada con Sangre Tratada con Arcilla Natural .....	92
5.9.4. Evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Agua Simulada con Sangre Tratada con Arcilla Activada .....	94

5.9.5. Evaluación del Carbono Orgánico Total del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural .....	96
5.9.6. Evaluación del Carbono Orgánico Total del Agua Simulada Tratada con Arcilla Activada .....	98
5.10. Evaluación del Caso Práctico .....	100
5.10.1. Índice de Color del Agua Residual Tratada con Arcilla Activada .....	100
5.10.2. Diferencia de Color del Agua Residual Tratada con Arcilla Activada .....	101
5.10.3. Remoción de Color en Unidades Platino – Cobalto (UPC) del Agua Residual Tratada con Arcilla Activada .....	101
5.10.4. Remoción de la Demanda Química de Oxígeno del Agua Residual Tratada con Arcilla Activada .....	101
5.10.5. Evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Agua Residual Tratada con Arcilla Activada .....	102
5.10.6. Evaluación del Carbono Orgánico Total (mg) del Agua Residual Tratada con Arcilla Activada .....	102
Conclusiones .....	104
Recomendaciones .....	105
Referencias Bibliográficas .....	106
Anexos .....	121

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Estructura de la lámina tetraédrica exhibe cavidades hexagonales.....	25
<b>Figura 2</b> Estructura tetraédrica de $SiO_4$ que constituye una fracción principal y repetitivo de la hoja laminar de la arcilla.....	25
<b>Figura 3</b> a) Estructura tetraédrica de Sílice b) Arreglo de geometría hexagonal constituidos por tetraedros de sílice .....	26
<b>Figura 4</b> Estructura octaédrica de $AlO_6$ que constituye una fracción principal y repetitivo de la capa laminar de la arcilla.....	27
<b>Figura 5</b> La estructura de la lámina tetraédrica presenta cavidades hexagonales.....	27
<b>Figura 6</b> Adsorción.....	32
<b>Figura 7</b> Tipos de adsorción.....	33
<b>Figura 8</b> Variables Independientes y dependientes de la investigación.....	38
<b>Figura 9</b> Esquema de diseño factorial de $2^2$ .....	39
<b>Figura 10</b> Flujograma del Tratamiento de la arcilla.....	48
<b>Figura 11</b> Flujograma de la activación de la arcilla .....	49
<b>Figura 12</b> Esquema de geometría óptica del espectrofotómetro .....	52
<b>Figura 13</b> PCC de la arcilla natural (AN) y la arcilla activada (AA).....	57
<b>Figura 14</b> Potencial $\zeta$ de la arcilla natural (AN) y la arcilla activada (AA).....	58
<b>Figura 15</b> a) Espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) para la sangre (S), arcilla natural (AN) y los tratamientos de la arcilla natural (Tf – AN); b) Espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) para la sangre (S), arcilla activada (AA) y los tratamientos finales de la arcilla activada (Tf – AA) .....	63
<b>Figura 16</b> Espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) para la sangre (S), arcilla activada (AN) y el caso práctico .....	64
<b>Figura 17</b> a) Imagen SEM para la arcilla natural (AN) a $50 \mu m$ ; b) Color SEM para la arcilla natural (AN) a $50 \mu m$ .....	65

<b>Figura 18</b> a) Imagen SEM para la arcilla activada (AA) 50 $\mu m$ ; b) Color SEM para la arcilla activada (AA) a 50 $\mu m$ .....	66
<b>Figura 19</b> a) Imagen SEM para el caso práctico a 200 $\mu m$ ; b) Color SEM para el caso práctico a 200 $\mu m$ .....	67
<b>Figura 20</b> Diagrama de efectos del pH y la concentración (mg/l) de la AN sobre el potencial de hidrogeno final .....	68
<b>Figura 21</b> Superficie de respuesta para el pH final del agua simulada tratada con AN...	69
<b>Figura 22</b> Diagrama de efectos del pH y la concentración (mg/l) de la AA sobre el potencial de hidrogeno final .....	70
<b>Figura 23</b> Superficie de respuesta para el pH final del agua simulada tratada con AA ...	70
<b>Figura 24</b> Diagrama de efectos del pH y la concentración (mg/l) de la AN sobre la remoción de concentración de sangre .....	72
<b>Figura 25</b> Superficie de respuesta para la remoción de sangre del agua simulada tratada con AN.....	72
<b>Figura 26</b> Diagrama de efectos del pH y la concentración (mg/l) de la AA sobre la remoción de concentración de sangre .....	74
<b>Figura 27</b> Diagrama de efectos principales para el índice de color del agua simulada tratada con arcilla natural.....	75
<b>Figura 28</b> Superficie de respuesta para el IC del agua simulada tratada con AN .....	76
<b>Figura 29</b> Diagrama de efectos principales para el IC del agua simulada tratada con AA .....	77
<b>Figura 30</b> Superficie de respuesta para el IC del agua simulada tratada con AA .....	78
<b>Figura 31</b> Efectos principales para la $\Delta E$ del agua simulada tratada con AN.....	79
<b>Figura 32</b> Superficie de respuesta para la $\Delta E$ del agua simulada tratada con AN .....	80
<b>Figura 33</b> Efectos principales para la $\Delta E$ del agua simulada tratada con AA .....	81
<b>Figura 34</b> Superficie de respuesta para la $\Delta E$ del agua simulada tratada con AA .....	82

<b>Figura 35</b> Efectos principales para la remoción de color del agua simulada tratada con AN .....	84
<b>Figura 36</b> Superficie de respuesta para la remoción de color del agua simulada tratada con AN.....	84
<b>Figura 37</b> Efectos principales para la remoción de color del agua simulada tratada con AA.....	86
<b>Figura 38</b> Superficie de respuesta para la remoción de color del agua simulada tratada con AA.....	86
<b>Figura 39</b> Efectos principales para la remoción de la DQO del agua simulada tratada con AN .....	88
<b>Figura 40</b> Superficie de respuesta para la DQO del agua simulada tratada con AN.....	89
<b>Figura 41</b> Efectos principales para la remoción de la DQO del agua simulada tratada con AA.....	90
<b>Figura 42</b> Superficie de respuesta para la remoción de la DQO del agua simulada tratada con AA.....	90
<b>Figura 43</b> Efectos principales para la $DBO_5$ del agua simulada tratada con AN.....	93
<b>Figura 44</b> Superficie de respuesta para la $DBO_5$ del agua simulada tratada con AN.....	94
<b>Figura 45</b> Efectos principales para la $DBO_5$ del agua simulada tratada con AA .....	95
<b>Figura 46</b> Superficie de respuesta para la $DBO_5$ del agua simulada tratada con AA .....	96
<b>Figura 47</b> Efectos principales para el COT del agua simulada tratada con AN.....	97
<b>Figura 48</b> Superficie de respuesta para el COT del agua simulada tratada con AN .....	98
<b>Figura 49</b> Efectos principales para el COT del agua simulada tratada con AA.....	99
<b>Figura 50</b> Superficie de respuesta para el COT del agua simulada tratada con AA .....	100

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Composición de las aguas residuales.....	16
<b>Tabla 2</b> Composición del agua residual del camal.....	17
<b>Tabla 3</b> Componentes de la sangre.....	22
<b>Tabla 4</b> Pesos aproximados, contenido de sangre y cantidad estimada de sangre escurrida.....	23
<b>Tabla 5</b> Características físicas de la sangre .....	23
<b>Tabla 6</b> Filosilicatos .....	29
<b>Tabla 7</b> Clasificación de los poros .....	34
<b>Tabla 8</b> Operacionalización de las variables de la investigación.....	40
<b>Tabla 9</b> Materiales .....	43
<b>Tabla 10</b> Equipos .....	44
<b>Tabla 11</b> Reactivos.....	45
<b>Tabla 12</b> Tamaño de partícula de la arcilla natural (AN) .....	59
<b>Tabla 13</b> Tamaño de partícula de la arcilla activada (AA) .....	60
<b>Tabla 14</b> Potencial de hidrogeniones del agua simulada tratada con AN.....	68
<b>Tabla 15</b> Potencial de hidrogeniones del agua simulada tratada con AA.....	69
<b>Tabla 16</b> Remoción de concentración de sangre (%) del agua simulada tratada con AN.....	71
<b>Tabla 17</b> Remoción de concentración de sangre (%) del agua simulada tratada con AA.....	73
<b>Tabla 18</b> IC del agua simulada tratada con AN.....	75
<b>Tabla 19</b> IC del agua simulada tratada con AA.....	77
<b>Tabla 20</b> $\Delta E$ del agua simulada tratada con AN.....	79
<b>Tabla 21</b> $\Delta E$ del agua simulada tratada AA .....	81
<b>Tabla 22</b> Remoción de color del agua simulada tratada con arcilla natural.....	83
<b>Tabla 23</b> Remoción de color del agua simulada tratada con AA.....	85
<b>Tabla 24</b> Remoción de la DQO del agua simulada tratada con AN.....	88
<b>Tabla 25</b> Remoción de la DQO del agua simulada tratada con AA.....	89

<b>Tabla 26</b> <i>DBO5</i> del agua simulada tratada con AN.....	93
<b>Tabla 27</b> <i>DBO5</i> del agua simulada tratada con AA.....	95
<b>Tabla 28</b> COT del agua simulada tratada con AN.....	97
<b>Tabla 29</b> COT del agua simulada tratada con AA.....	99
<b>Tabla 30</b> IC del agua residual tratada con AA.....	100
<b>Tabla 31</b> Diferencia de color del agua residual tratada con arcilla activada .....	101
<b>Tabla 32</b> Remoción de color en (UPC) del agua residual tratada con AA.....	101
<b>Tabla 33</b> Remoción de la DQO del agua residual tratada con AA.....	102
<b>Tabla 34</b> <i>DBO5</i> del agua residual tratada con AA.....	102
<b>Tabla 35</b> COT del agua residual tratada con AA.....	103

## Abreviaturas

AA : arcilla activada

AN : arcilla natural

COT : carbono orgánico total

$DBO_5$  : demanda bioquímica de oxígeno consumida en 5 días a  $T= 20^{\circ}C$

DQO : demanda química de oxígeno

$\Delta E$  : diferencia de color

FTIR : espectroscopía por transformada de Fourier

IC : índice de color

L : litro

MSR : metodología de superficie de respuesta

mg : miligramos

mg/L : miligramos por litro

M : molar

nm : nanómetro

ppm : partes por millón

pH : potencial de hidrogeniones

PCC : punto de carga cero

rpm : revoluciones por minuto

SEM : scanning electron microscopy

$Ti_1$  : tratamiento inicial a pH=6 y concentración de arcilla= 50 mg/l

$Ti_2$  : tratamiento inicial a pH=6 y concentración de arcilla= 100 mg/l

$Ti_3$  : tratamiento inicial a pH=8 y concentración de arcilla= 50 mg/l

$Ti_4$  : tratamiento inicial a pH=8 y concentración de arcilla= 100 mg/l

$Tf_1$  : tratamiento final a pH=6 y concentración de arcilla= 50 mg/l

$Tf_2$  : tratamiento final a pH=6 y concentración de arcilla= 100 mg/l

$Tf_3$  : tratamiento final a pH=8 y concentración de arcilla= 50 mg/l

$Tf_4$  : tratamiento final a pH=8 y concentración de arcilla= 100 mg/l

$Tf - i$  : diferencia entre el tratamiento final e inicial

$\zeta$  : zeta

## Resumen

La sangre es uno de los residuos que se generan producto del faenamiento de los animales en los camales, y los que se descargan en grandes cantidades a cuerpos de agua, provocando un aumento de la carga orgánica, generando focos de contaminación. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de la sangre de las aguas residuales. La arcilla se caracterizó a través de la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), características morfológicas por medio de las microfotografías estructurales, Punto de Carga Cero (PCC), potencial  $\zeta$  y tamaño de partícula. Se realizó pruebas para simular el proceso de adsorción aplicando dos concentraciones de arcilla y dos pH para evaluar la remoción de sangre del agua residual simulada. Se aplicó un diseño factorial de  $2^2$  y se evaluaron los efectos a través de un ANOVA a un nivel de significancia del 5% y la interacción por medio del modelo lineal de Superficie de Respuesta. Los resultados demostraron que la arcilla presentó grupos funcionales características de los silicatos, PCC de 6.96 y potencial  $\zeta$  de mayor estabilidad en el medio alcalino. Se observó que el color de agua tratada disminuye significativamente en medio ácido. El aumento de AA y el pH reportó mayor remoción de DQO, mientras que para la  $DBO_5$  y COT se observó ligeros aumentos. La aplicación de un caso práctico presentó un IC 170.53, diferencia de color 2.025 y una remoción de color 8.29%, DQO 16.8 %, mientras que la  $DBO_5$  fue 13849 mg/l y COT 0.0095 mg. La AA permite remover residuos de sangre de agua residual en pH ácido. El uso de este material activado presenta alto potencial para el tratamiento del agua residual.

**Palabras clave:** arcilla activada; agua residual; adsorción; sangre

### Abstract

Blood is one of the wastes generated by the slaughtering of animals in animal feedlots, which are discharged in large quantities into bodies of water, causing an increase in the organic load and generating sources of contamination. The objective of the present work was to evaluate the effect of pH and concentration of activated nanoclay on the removal of blood from wastewater. The clay was characterized through Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), morphological characteristics through structural microphotographs, Zero Charge Point (PZC), zeta potential and particle size. Tests were conducted to simulate the adsorption process by applying two clay concentrations and two pHs to evaluate the blood removal from the simulated wastewater. A  $2^2$  factorial design was applied and the effects were evaluated through an ANOVA at 5% significance level and the interaction by means of the linear model of Response Surface. The results showed that the clay presented functional groups characteristic of silicates, PCC of 6.96 and zeta potential, of higher stability in alkaline medium. It was observed that the color of treated water decreases significantly in acidic medium. Increasing AA and pH reported higher COD removal, while for  $BOD_5$  and TOC slight increases were observed. A case study application presented a CI 170.53, color difference 2.025 and color removal 8.29%, COD 16.8%, while the  $BOD_5$  was 13849 mg/l and TOC 0.0095 mg. The AA allows removal of blood residues from wastewater at acidic pH. The use of this activated material presents high potential for wastewater treatment.

**Keywords:** activated clay; wastewater; adsorption; blood.

### Chumasqa

Yawarqa unanchakun nakaq wasipi uywakunapa arpayninwanmi, hinallataq hatun maychikunapi yakuman uraykachikuptinpas, chaywan carga orgánicatapas mirachin, hinaspa qillichayta paqarichinpas. Llamkaypa yuyay taripananqa pHpa qatikuyninta hinallataq nanoarcilla activadapa huñunakuyninta qunchu yakukunapi yawarpa qaywiyninta chaninchanam karqan. Chaqutaqa espectroscopía infrarroja por transformada de Fourierwan (FTIR) kikinachirqan, morfológicas sapsikunatañataq microfotografías estructurales, Punto de Carga Cero (PCC), potencial  $\zeta$  y tamaño de partículawan tiqsichachirqanpas. Yañaychakutam proceso de adsorciónpi iskay chaqu huñupi hinallataq iskay pHpi rurakurqan, chaywan qunchutukuy yakupi yawar kasqanta chaninchanapaq. Chaynallataq, diseño factorial de  $2^2$  kamachikurqan, qatinqinkunataqa ANOVA 5% uypaychu ñinayaywan chachincharqan, ukunpuraykunataqa modelo lineal de Superficie de Respuetawanpas. Chuyanchaypiqa chaquqa silicatos, PCC de 6.96 y potencial  $\zeta$  de mayor estabilidad en el medio alcalinopim sutinchachikun. Yakupa llimpinqa hampisqa kaspaga medio ácidoman pisiyakuqtam qawakurqanpas. AApa yapakuyninnqa hinallataq pHpaqa chiqap tikrachiytam DQOpi raykuchikurqan, ichaqa  $DBO_5$  chaynallataq COTpiqa pisi mirachikuyllatam qawakurqan. Huk kamachikuy ruraypim riqsichikurqan IC 170.53, chinkanyachina llimpi 2.025, hinaspa chuyanchay llimpipi 8.29%, DQO 16.8 %, chaykamaqa  $DBO_5$  karqa 13849 mg/l, COT 0.0095 mg ima. AAqa qunchu yakupi pH ácidowan puchu yawar kasqantam kapkin. Kay imaykana kallpachasqa kamachikuyqa qunchu yakuta hampinapaqmi chiqap chayninchaywan riqsichikunpas.

**Aysaqnin rimaykuna:** chaqu kallpachisqa; qunchu yaku; adsorción; yawar

## Introducción

En la actualidad, el tratamiento de las aguas residuales de los camales es una necesidad económica, de higiene pública y de interés ambiental (Muñoz, 2005). Los vertimientos como desechos y sangre proveniente del sacrificio de los animales, se descargan sin ningún tratamiento a los cuerpos de agua. La sangre aporta gran cantidad de materia orgánica y eleva los niveles de contaminación de los recursos hídricos.

En el desarrollo de distintas tecnologías para el tratamiento de efluentes de aguas residuales se han utilizado distintos materiales naturales como cascara de arroz, fibra de coco, bagazo de caña, nostoc y arcilla como adsorbentes naturales de distintos contaminantes.

En ese contexto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la arcilla en la remoción de la sangre de las aguas residuales, puesto que , estos materiales naturales presentan alta capacidad de adsorción y su bajo costo, la hacen viables para su implementación (Mejia Miranda et al., 2015), es por ello, que son ampliamente utilizados para el tratamiento de las aguas residuales (Hnamte y Pulikkal, 2022).

Esta investigación presenta el efecto de la arcilla activada en la remoción de la sangre del agua residual, el cual está compuesta por seis capítulos

En el capítulo I se describe la realidad problemática, formulación del problema, justificación, objetivos e hipótesis de la investigación, cuya finalidad es generar una nueva alternativa de solución al problema.

En el capítulo II se presenta los antecedentes recopilados sobre la utilidad de las arcillas en el tratamiento de las aguas residuales, que resultan importantes para la comparación de los resultados obtenidos.

En el capítulo III se expone las teorías y conceptos del agua residual, la sangre animal, la arcilla y el fenómeno de la adsorción que servirán para el mejor entendimiento del lector.

En el capítulo IV se detalla el tipo de investigación, diseño experimental de la investigación, la identificación de las variables, el lugar de ejecución, la población,

muestra, muestreo, materiales, equipos, reactivos, las técnicas e instrumentos de recolección de datos que corresponden a la metodología de la investigación

En el capítulo V se muestran los resultados obtenidos del punto de carga cero de la arcilla, el potencial  $\zeta$ , el tamaño de partícula de la arcilla, análisis por espectroscopia de transformada de Fourier de la arcilla y sus tratamientos, las microfotografías estructurales, el análisis del color, la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), el COT del agua simulada con sangre tratada con arcilla y la aplicación de la arcilla en el caso práctico.

Finalmente, en el capítulo VI se hace mención a las conclusiones en respuesta a los objetivos planteados, las recomendaciones para las próximas investigaciones, referencias bibliográficas y los anexos del trabajo de investigación.

## Capítulo I: Problema de Investigación

### 1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Una problemática ambiental que aqueja a nivel mundial es el vertimiento de aguas residuales a los recursos hídricos como ríos, lagunas, mares, etc. Estos al no tener tratamiento se depositan y producen contaminación a los cuerpos receptores. Las actividades antrópicas son las generadoras de grandes volúmenes de agua que se desechan indiscriminadamente.

En el Perú, alrededor de 54 metros cúbicos por segundo de agua residual sin tratamiento son entregados a fuentes superficiales (Peña y Yabarrena, 2019), lo que contribuye a la degradación ambiental.

El faenamiento de animales es una actividad que presenta significativos problemas ambientales, ya que los camales utilizan grandes volúmenes de agua que se transforman en vertidos líquidos con una alta carga contaminante, originada principalmente por la degradación de la materia orgánica (Guevara, 2011), asimismo, entre sus desechos se encuentran la sangre, rumen, grasas, estiércol y agua (López, 2015), que poseen una elevada concentración de materia orgánica, los cuales representan un problema al ambiente y a la salud pública.

La sangre es un agente contaminante, puesto que, por cada litro de sangre, es posible un incremento de las concentraciones del DBO en 150000 a 200000 mg/L (López, 2015), convirtiéndose en un potencial de contaminación de los recursos hídricos.

En la provincia de Andahuaylas, se ha producido una mayor demanda de productos cárnicos debido al crecimiento poblacional, lo que a su vez ha incrementado la faena de animales destinado al abasto público. En la actualidad opera uno de los tres camales ubicados en la provincia, y es del distrito de San Jerónimo.

El faenamiento de estos animales genera efluentes provenientes del desangrado, residuos sólidos orgánicos, grasas y rumen los que reciben un tratamiento preliminar y son descargados al río Chumbao, sin previo tratamiento.

Es por ello, resulta necesario realizar un tratamiento a estos efluentes y disminuir sus potenciales efectos en el ambiente y la salud pública. Así como generar alternativas que permitan la reducción de sus impactos, y que a su vez resulten económicas y sencillas de manejar ( Espinoza, 2017).

Una de los tratamientos más frecuentes para tratar los efluentes de las aguas residuales se realizan por medio de adsorbentes naturales, los cuales resultan económicos y su eficiencia dependerá del tipo de adsorbente a utilizar. Por ejemplo, se han utilizado bagazo de caña, la paja, cascara de arroz, zeolita, cenizas, fibra de coco, cascara y la turba para la remoción de contaminantes (Lau et al., 2021), y la arcilla para el tratamiento de las aguas residuales de distintos tipos de industrias y efluentes domiciliarios(Universidad Nacional de la Plata [UNP], 2019)

La arcilla ha sido estudiada en estos últimos años para tratar el problema de contaminación de las aguas residuales, justamente por su capacidad de adsorción y su versatilidad para la remoción de metales pesados, colorantes y materia orgánica. Estos constituyen un recurso natural importante que se pueden reciclar para tratar de eliminar sustancias contaminantes, además de ser materiales inocuos, baratos.(Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y Tecnología, 2017) . Su activación de este adsorbente se viene realizando con la finalidad de mejorar sus propiedades, las cuales se modifican con aditivos o procesos fisicoquímicos(Rosas y Guerrero, 2014)

En este caso, esta alternativa de uso de la arcilla activada puede ser aplicarse para la remoción de la sangre de las aguas residuales provenientes del camal del distrito de San Jerónimo. De esta forma, poder atender a la problemática de contaminación del agua por esos efluentes.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

- ¿Cuál es el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de la sangre de las aguas residuales, y su aplicación en un caso práctico para aguas procedente del camal de San Jerónimo, Andahuaylas?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuál es el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en el porcentaje de remoción del color de la sangre de las aguas residuales?
- ¿Cuál el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de materia orgánica de la sangre de las aguas residuales?
- ¿Cómo será el comportamiento de nanoarcilla activada en el tratamiento de aguas residuales procedente del camal de san Jerónimo – Andahuaylas?

### **1.3. Justificación de la Investigación**

La finalidad del presente proyecto es contribuir a la solución de la contaminación de los cuerpos de agua superficial por los efluentes de aguas residual del camal. De manera que el presente proyecto de investigación se justifica del siguiente modo:

#### **1.3.1. Justificación Teórica**

Con los resultados de obtenerse de la ejecución del presente proyecto, se contribuirá a la consolidación de los principios y teorías de la adsorción, toda vez que el uso de la nanoarcilla activada como material adsorbente retenga la sangre de las aguas residuales del camal, removiendo así la materia orgánica existente y el color de sus efluentes.

#### **1.3.2. Justificación Metodológica**

Para lograr la remoción de la sangre del efluente del camal se realizarán ensayos de optimización de parámetros de pH y concentración de nanoarcilla activada. De este modo, se contribuirá a la estandarización de tecnologías aplicado a la adsorción para el tratamiento de aguas residuales provenientes de camales a partir del uso de nanoarcillas activadas que tienen gran capacidad de adsorción.

### **1.3.3. Justificación Práctica y Aplicativa**

Actualmente en el distrito de San Jerónimo, existe la problemática del vertimiento de aguas residuales al río Chumbao, siendo los efluentes del camal municipal, las principales fuentes de contaminación, cuyos impactos en los recursos hídricos son múltiples; entre ellos la alta carga de materia orgánica como la sangre y nitrogenada, lo que generan focos de contaminación, así como el origen de enfermedades diarreicas agudas que atentan contra salud pública; es por ello, en el presente proyecto, se propone el uso de un producto natural como la nanoarcilla activada para evaluar su capacidad de remoción de la sangre de las aguas residuales del camal.

### **1.4. Objetivos de la Investigación**

#### **1.4.1. Objetivo General**

- Evaluar el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de la sangre de las aguas residuales; y el estudio de un caso práctico – camal de San Jerónimo, Andahuaylas

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en el porcentaje de remoción del color de la sangre de las aguas residuales
- Determinar el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de materia orgánica de la sangre de las aguas residuales
- Desarrollar un caso práctico del uso de nanoarcilla activada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes del camal de San Jerónimo – Andahuaylas

### **1.5. Formulación de la Hipótesis**

#### **1.5.1. Hipótesis General**

- El efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de la sangre de las aguas residuales; y el estudio de un caso práctico – camal de

San Jerónimo, Andahuaylas es significativo

### ***1.5.2. Hipótesis Específicas***

- El efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en el porcentaje de remoción del color de la sangre de las aguas residuales es significativo
- El efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de materia orgánica de la sangre de las aguas residuales es significativo
- La nanoarcilla activada presenta una gran capacidad de remoción de la sangre de las aguas residuales.

## Capítulo II: Antecedentes

### 2.1. Antecedentes Internacionales

Almeida et al. (2009) estudiaron la adsorción del colorante azul de metileno usando la arcilla *montmorillonita*. El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad de adsorción de la arcilla montmorillonita en un sistema por lotes. La arcilla se secó al aire y luego se tamizó, y se obtuvo partículas de  $53 \mu\text{m}$  a  $105 \mu\text{m}$  con un tamiz estándar y se caracterizó con un espectrómetro y difractómetro. El potencial  $\zeta$  se evaluó ajustando el pH mediante soluciones HCl y NaOH. El experimento por lote para evaluar la adsorción se realizó con la agitación de 0.1g de arcilla con 50 ml de solución del colorante no tamponada en un rango de pH 5.5 -7.5, asimismo, se varió la concentración de la arcilla con respecto al pH, a partir de la solución madre, a distintas concentraciones y el nivel de absorbancia se midió con un espectrómetro. Los experimentos reportaron, el efecto de la concentración inicial del adsorbato tiene una influencia importante en la adsorción de la arcilla, puesto que, a concentraciones altas, el porcentaje de eliminación del metileno disminuye. Asimismo, el efecto del pH resulta un factor importante en el proceso de adsorción. Finalmente, el efecto de la concentración de la arcilla a un tiempo de contacto de dos horas mejora el porcentaje de remoción.

Gonzales y Tupaz ( 2010) investigaron la utilización de nanoarcillas modificadas y la posible alternativa en la remoción de la carga orgánica en aguas residuales provenientes de las empresas Alivial y Lácteos Cruz de Oriente del municipio de pasto. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la utilización de arcillas pilarizadas. del tipo bentonita como una alternativa para el tratamiento de los vertimientos. Se modificó la bentonita cálcica con la mezcla de  $FeCl_3$ ,  $AlCl_3$ ,  $NaOH$  a distintas concentraciones. Se caracterizó fisicoquímicamente la arcilla por adsorción atómica (AA), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y difracción de Rayos X (DRX). Los resultados de remoción de materia orgánica a escala laboratorio de Alivial alcanzó 71% en carga orgánica y cuya concentración inicial de DQO fue de  $1.606,90 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , mientras que para Lácteos fue de 55.76%, el cual presentó un DQO inicial de  $88.663,79 \text{ mgO}_2/\text{L}$ .

Çakmak et al. (2017) estudiaron la eliminación de astrazón amarillo dorado 7GL de aguas residuales coloreadas utilizando arcilla modificada químicamente, explican cómo se caracteriza a este adsorbente para precisar el potencial  $\zeta$ , barrido de electrones a través de la adsorción de  $N_2$  a 77 K, el infrarrojo transformado de Fourier con el espectrómetro y la morfología de la superficie mediante el uso del microscopio electrónico, puesto que, permitió conocer las características de adsorción de esta arcilla. Asimismo, se evaluó los parámetros de operación del AGY-7GL tales como: potencial de hidrogeno y las concentraciones del adsorbente y adsorbato, así como la capacidad y rendimiento de adsorción. Los resultados del análisis infrarrojo transformado de Fourier identifican a la arcilla en estudio, el cual pertenece a las minerales montmorillonitas y la morfología de la superficie de la arcilla activada antes de la adsorción muestran una superficie porosa y rugosa, mientras que después de la adsorción, los poros superficiales están cubiertos del colorante, lo cual ha modificado su estructura. El PCC encontrado para la arcilla activada fue 6, y los valores próximos a este pH presentaron mayor capacidad de adsorción. Los resultados indicaron que la eliminación del colorante depende de la concentración del adsorbente. Se recomienda a la arcilla activada como potencial adsorbente para la eliminación de este colorante de las aguas residuales y por su costo económico.

Jiménez et al. (2018) explicaron sobre el efecto del pH en la adsorción de un colorante textil mediante el uso de materiales naturales y modificados, en el caso de sorción con arcillas, se presenta ciertas modificaciones químicamente con hierro y cobre, y se evaluó su eficiencia de remoción del colorante a ciertos valores del pH. El resultado para la arcilla natural y la modificada con hierro disminuye su eficiencia al aumentar su pH, cuyo porcentaje mínimo de remoción fue de 40%. El resultado del cobre y la arcilla natural presentan resultados similares al del hierro, pero sus valores son más bajos. Es por ello, que recomiendan modificar las arcillas en otras formas químicas como oxidroxidos, hidróxidos u oxidos, además se concluye que el pH afecta a la eficiencia de remoción, ya que el colorante se ioniza.

Montaño et al. (2020) en su trabajo de investigación sobre arcillas activadas para el blanqueamiento del aceite de palma y remoción del colorante azul índigo carmín de aguas, explica el uso de la arcilla bentonita, el cual se caracterizó a través del análisis de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), luego se procedió a activarlo a [Hexamin] $BF_4$ ] y se realizó la prueba experimental y se obtuvo que este retiene un 97% de colorante, lo cual se considera un posible adsorbente para remover la contaminación de aguas en los procesos industriales.

Bejarano et al. (2020) en Ecuador, estudiaron la adsorción de los colorantes Drimaren Amarillo CL-2R y Basic Azul Marino 2 RN en arcillas activadas provenientes de las localidades de Cochancay (CO), Santa Clara (SC) y Shirahuan (SH). La metodología desarrollada explica la caracterización de la arcilla con el espectrómetro de fluorescencia de rayos  $x$  y activadas en un medio ácido. Asimismo, se evaluó el efecto del pH, concentración inicial y cantidad de arcilla y los mecanismos de adsorción del colorante, de los cuales obtuvo una mayor efectividad de pH con un valor de 6 y 10, alcanzando una remoción del 98% y 95% respectivamente en el caso de la arcilla CO, y en un rango de pH de 2-4 tuvo una mayor remoción cercano a 97% en el caso de la arcilla SC, y la arcilla SH con un pH de 12 una remoción del 99%. En el caso de la concentración de arcilla se obtuvo un mejor resultado con una concentración de 0.3 g/ml alcanzando un 70% de remoción de colorante.

El previo estudio proporciona indicadores claves como el pH, y la concentración de arcilla activada para la remoción de colorantes.

En Ecuador, Cuesta y Nieto (2022) evaluaron la capacidad de adsorción de Arcillas Naturales mediante cinética e isothermas de adsorción en la remoción de colorantes, para lo cual utilizaron una arcilla roja y blanca. Se evaluaron parámetros como temperatura, pH, concentración de la solución y su influencia en la remoción de colorantes Azul Marino Básico 2RN y Drimaren Amarillo CL – 2R. Los resultados del efecto del pH en la remoción del colorante presentan mayor eficiencia alrededor de 92% en un rango de pH de 2-4 para el caso de la arcilla roja, mientras que 90% en la arcilla

blanca en esa misma escala de pH. Asimismo, el porcentaje de remoción alcanza valores de 89% y 90% cuando la masa del adsorbente es de 0.15g y 0.30 g, por lo contrario, en la arcilla blanca disminuye cuando presenta una más de 0.15g.

Por esta razón, este estudio genera importancia ante el presente proyecto, puesto que las arcillas activadas removerán más colorantes a pH y concentración de arcillas determinados, en donde explican el fenómeno de regulación interna en el sistema, en donde si se adiciona más arcilla proporciona más sitios activos para su capacidad de adsorción y en una relación inversa a la cantidad del colorante.

## **2.2. Antecedentes Nacionales**

Ita y López (2020) evaluaron la capacidad de adsorción del colorante reactivo Synozol Red K-3BS utilizando como adsorbente una arcilla modificada térmicamente. Se estandarizó el método para la determinación del colorante SYNOZOL RED K-3BS, se sintetizó el hidróxido de aluminio y se modificó térmicamente la arcilla en un medio básico. Se caracterizó la arcilla mediante el microscopio electrónico, y tamaño de partícula (Zetasizer). La evaluación de la capacidad de adsorción tuvo como variable la concentración de la arcilla g/L, bajo la influencia fue el pH. El porcentaje de remoción obtenido es de 96.32% en los parámetros de concentración de adsorbente 10 g/L. Además, el menor porcentaje de adsorción reportó un valor de 42.69% en una concentración del adsorbente 5 g/L.

## Capítulo III: Marco Teórico

### 3.1. Bases Teóricas

#### 3.1.1. Aguas Residuales

Candela (2016) describe como las aguas empleadas para la realización de actividades antrópicas. Asimismo, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) explica que son aguas cuyas propiedades originales han sido alteradas por la intervención humana y cuya calidad requiere un tratamiento previo antes de que puedan ser reutilizadas, vertidas a cuerpos de agua naturales o vertidas a sistemas de alcantarillado.

**3.1.1.1. Clasificación de las Aguas Residuales.** Estas se clasifican de acuerdo a su origen: en aguas de escorrentía, domésticas (fecales y de limpieza), industriales o comerciales:

**3.1.1.1.1. Aguas Residuales de Escorrentía.** Son procedentes de la precipitación y estas se conducen hasta llegar a los sistemas de drenaje (Rivasplata, 2016).

**3.1.1.1.2. Aguas Residuales Domésticas.** Para Reyes (2020) las aguas residuales domésticas de diferentes usos humanos a menudo se mezclan y se encuentran en diferentes concentraciones. Estas se presentan como un líquido turbio, gris o amarillo, con olor séptico, en el que se encuentran suspendidas partículas de sedimentos, heces, restos vegetales, trozos de papel y materiales sintéticos. Cuando el colector es dirigido y cuanto más turbulento es el flujo en el alcantarillado, más pequeñas son las partículas presentes en las aguas residuales.

**3.1.1.1.3. Aguas Residuales Industriales o Comerciales.** Son las que proceden de procesos industriales y contienen aceites, cosméticos, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y son de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición varía mucho, dependiendo de los diferentes procesos industriales (García y Pérez, 1995). Además, Candela (2016) menciona que las industrias que generan aguas residuales se dividen en cinco categorías: industrias que generan residuos orgánicos (mataderos,

lácteos, azucareros, fermentadores, etc.), industrias que generan residuos orgánicos e inorgánicos (limpieza, petroquímica, textil, etc.), industrias con efluentes inorgánicos (minería, sal, productos químicos, limpieza, carbón, etc.), residuos con efluentes de suspensión( lavaderos minerales y carboníferos, pulidoras de mármol, de metales, etc.) y con efluentes de refrigeración (centrales térmicas y nucleares).

**3.1.1.2. Composición de las Aguas Residuales.** Correa (2016) explica que las aguas residuales se componen de constituyentes fisicoquímicos y biológicos. Mientras que, Flores (2009) clasifica de acuerdo a su composición química y biológica, y en donde resalta que la composición química se debe a la presencia de sólidos sedimentables, suspendidos y disueltos, asimismo, está compuesto de gases como el oxígeno disuelto (OD), el ácido sulfhídrico y el metano. La composición biológica resulta por la presencia de microorganismos como hongos, bacterias y virus.

Las aguas residuales presentan la siguiente composición, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Composición de las aguas residuales.*

Constituyente	Concentración mg/L		
	Alto	Medio	Bajo
Sólidos Totales	1200	700	350
Disueltos	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En suspensión	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Sólidos Sedimentables ml/l-h	20	10	5
DBO (5días, 20°C)	300	200	100
DQO	570	380	190
Nitrógeno Total como N	85	40	20
Orgánico (como N)	35	15	8
Amoniacal (como N)	50	25	12
Fósforo Total (como P)	20	10	6
Cloruros (Cl)	100	50	30
Alcalinidad (como $CaCO_2$ )	200	100	50
Grasas	150	100	50

Calcio (como Ca)	110	50	10
Magnesio (como Mg)	10	9	8
Sodio (como Na)	100	50	23

*Nota. Metcalf y Eddy (1995)*

**3.1.1.2.1. Composición de Aguas Residuales del Camal.** El efluente del camal es agua residual compleja de concentración moderada a alta que contiene aproximadamente un 45 % de materia orgánica suspendida soluble y un 55 % gruesa (Manjunath et al., 2000). Estas contienen proteínas, grasas, alto contenido orgánico, microbios y otros contaminantes emergentes como residuos farmacéuticos y veterinarios (Ng et al., 2022), es decir, son compuestas por subproductos orgánicos que se consideran desechos orgánicos industriales, que son difíciles de tratar debido a su alto contenido de proteínas y lípidos. Además, las principales corrientes orgánicas retratan a las aguas residuales del camal como de naturaleza recalcitrante incluyen la sangre, las panzas de la remoción del rumen y el contenido intestinal, los residuos intestinales del proceso de evisceración, grasas del paso de recorte de la carne, así como la cabeza y las extremidades, principalmente huesos (Musa y Idrus, 2021).

La composición del agua residual de un camal, según Stecher y Ruprecht (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1991, como se citó en Muñoz, 2000), se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Composición del agua residual del camal*

<b>Constituyente</b>	<b>Cantidad</b>
Sustancias sedimentables, ml/l	10
pH	7
Sustancias no disueltas, mg/l	580
Sólidos fijos, mg/l	81
Sólidos volátiles, mg/l	498
Sustancias disueltas, mg/l	1206
Sólidos fijos, mg/l	272
Sólidos Volátiles, mg/l	934
Alcalinidad, ml/ácido/l	7
Grasa, mg/l	108
Nitrógeno (N), mg/l	145
Pentóxido de fósforo, mg/l	19

Óxido de potasio, mg/l	29
Óxido de Calcio, mg/l	131
Consumo de KMnO <sub>4</sub> , mg/l	154
DBO <sub>5</sub> , mg/l	838

---

*Nota. Cepis (1991)*

**3.1.1.3. Parámetros de Calidad del Agua Residual.** Los parámetros de calidad del agua residual son características químicas, físicas y biológicas (Espinoza, 2017), y sirven como referencia para estimar el grado en que se encuentra el determinado cuerpo de agua, para una determinada actividad y su uso. Las aguas residuales provenientes del camal incluyen estos parámetros importantes a evaluar como: DBO<sub>5</sub>, pH, SST, Aceites y Grasa, Coliformes Totales, Amoniac, Turbiedad, SDT, Color (Muñoz, 2005).

**3.1.1.3.1. Parámetros Físicos.** Estos parámetros se definen a continuación:

**Temperatura.** Un parámetro que influye en los procesos de vida acuática y que interviene en las reacciones químicas que se dan lugar, además de garantizar el uso del agua para ciertos fines (Espinoza, 2017), y por lo general, la temperatura del agua de abastecimiento es menor en comparación a la del agua residual, debido a que estas se incorporan con aguas procedentes de los hogares y de las actividades industriales (Lizana, 2018).

**Turbidez.** Es una propiedad que permite medir la transmisión de luz en el agua, y es empleada para medir su calidad en relación a las partículas que se encuentran suspendidas, coloidales o muy finas (Maldonado, 2018).

**pH.** Es una forma de expresar la cantidad de iones de hidrógeno que se encuentran presentes en el agua residual y se emplea para medir la calidad del agua. Este parámetro es determinante para la realización de las tecnologías de tratamientos biológicos y cuyo rango oscila entre [5.5 - 9.5], aunque existe la adaptabilidad de ciertos microorganismos a valores más excesivos de los indicados anteriormente (Espinoza, 2017).

**Color.** El color del agua es causada por sustancias suspendidas o en solución, las cuales se originan de la descomposición de vegetales o ciertos metabolitos orgánicos que se encuentran en ellas (Calderón y Orellana, 2015).

Delgadillo et al. (2010), mencionan que el color se relaciona directamente con las características que presentan las aguas residuales y estas son:

- Color café claro: El agua residual que se descargó aproximadamente hace 6 horas
- Color gris claro: Es referido al agua residual que ha sufrido cierto nivel de descomposición o que se ha mantenido en los sistemas de colección en un tiempo corto.
- Color gris oscuro o negro: Son aguas sépticas que bajo circunstancias anaeróbicas experimentaron una fuerte descomposición.

Existen dos tipos de color: el color aparente y el verdadero. La primera se refiere al resultado de eliminar la turbidez del agua y la segunda es producto de las sustancias que se encuentran disueltas o en suspensión. Su unidad de medida es Platino – Cobalto (PCU) y representa como 1 mg/l de Pt en forma de ión cloroplatinato (Arpi y Yunga, 2017).

**Olor.** Es resultado de la descomposición de las sustancias orgánicas del agua residual, la cual emana ciertos gases como sulfhídrico o compuestos amoniacales producto de la descomposición en ausencia de oxígeno (Grefa, 2013).

**Conductividad.** Es un valor numérico que indica la cantidad de iones presentes en el agua, representa su facilidad para transportar la corriente eléctrica y se expresa en microsiemens/cm (Arpi y Yunga, 2017).

**3.1.1.3.2. Parámetros Químicos.** Estos parámetros se definen a continuación:

**Oxígeno Disuelto (OD).** Es un parámetro de campo muy importante para el estudio de aguas marinas, terrestres y residuales. Esto se debe a que el oxígeno es el agente oxidante más fácilmente disponible y asume una función clave en las actividades

metabólicas y la salud ecológica de los ecosistemas (Mader et al., 2017). Asimismo, Campos et al. (2017), lo definen como la cantidad de oxígeno atmosférico que se encuentra disuelto en el agua.

***Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)***. Zaher y Hammam (2014), definen a la  $DBO_5$  como la medida de cuanto oxígeno disuelto consumen las bacterias aerobias en 5 días a 20°C

En relación a las aguas residuales, la DBO se utiliza a menudo como medida de la fuerza de los residuos, es así que, cuanto mayor es la DBO, más "concentrados" están los residuos. Así también, la DBO tiene la particularidad que mide el impacto en el medio ambiente (masa de oxígeno disuelto consumida por volumen de muestra de agua,  $mgO_2/l$ ) (Brenniman, 2006).

***Demanda Química de Oxígeno (DQO)***. Es la cantidad de oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica y se mide por medio de la digestión con ácido. La correlación definida entre la DBO y la DQO, en las aguas residuales dependen de ciertas condiciones y en gran medida de los residuos (Zaher y Hammam, 2014), y su cociente siempre será menor que la unidad, puesto que, la DQO se encarga de oxidar la materia orgánica, sino también las inorgánica, mientras que la DBO a la materia que es consumida por organismos vivos. Se representa en  $mg$  de  $O_2/l$  y su análisis tarda entre 3 a 4 horas (Espinoza, 2017).

***Aceites y Grasas***. Comprende diferentes sustancias (líquidos y sólidos) y describe un grupo heterogéneo de productos químicos que incluyen triglicéridos, diglicéridos y monoglicéridos, esteroides, hidrocarburos no volátiles, ceras y otros compuestos lípidos que existen en una combinación de formas libres y emulsionadas (Gurd et al., 2020).

Constituyen uno de los principales tipos de materia orgánica que se encuentran en las aguas residuales municipales que pueden llegar a las aguas superficiales (Chipasa y Mędrzycka, 2006). Su presencia en las masas de agua provoca la formación de una capa de aceite, que causa importantes problemas de contaminación, como la reducción

de la penetración de la luz y de la fotosíntesis. Además, dificulta la transferencia de oxígeno de la atmósfera, lo que provoca la disminución de la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en el fondo del agua y afecta negativamente a la supervivencia de la vida acuática (Abass et al., 1970).

**Sólidos.** Se refiere al residuo o materia sólida que queda luego del secado a una temperatura de 103°C. Estos se pueden dividir en dos grupos: disueltos y sedimentales. La primera se describe a los residuos que se filtraron en el medio y la segunda a los residuos que se encuentran suspendidos (Espinoza, 2017). Estos últimos, se consideran uno de los principales contaminantes que contribuyen al deterioro de la calidad del agua, contribuyendo a mayores costos de tratamiento del agua, disminuciones en los recursos pesqueros y la estética general del agua. Además, a través de este parámetro se puede controlar la calidad de las aguas residuales, ya que, el exceso de TSS agota el oxígeno disuelto (OD) en el agua efluente (Verma et al., 2013).

**Alcalinidad.** La alcalinidad es la capacidad del agua para neutralizar el ácido o absorber iones de hidrógeno. Es la suma de todas las bases neutralizadoras de los ácidos presentes en el agua. En las aguas residuales municipales e industriales, los factores que contribuyen a la alcalinidad son: los tipos de disolventes inorgánicos y los compuestos orgánicos presentes en el agua procedentes de las actividades de las plantas o de las rocas y tipos de suelos, la cantidad de materia orgánica en suspensión presente en el agua, la presencia o ausencia de iones hidroxilos, si el agua está fuertemente o débilmente tamponada, la relación entre bicarbonatos y dióxido de carbono disuelto esta indirectamente correlacionada con la cantidad de sólidos disueltos en el agua (Amosa, 2016).

### 3.1.2. Sangre Animal

**3.1.2.1. Composición.** La sangre se constituye de una variedad de poblaciones celulares y proteínas del plasma que se encuentran en un medio acuoso (Cortina y López, 2000). En su composición también se localizan elementos formes suspendidos como los leucocitos, hematíes y plaquetas (Del Hoyo, 2012). El plasma se integra por agua que contiene en disolución (aminoácidos, hormonas, glucosa, sales minerales, anticuerpos, urea y  $CO_2$ )(Montalvo, 2010).

La sangre presenta un color rojizo y es debido al contenido de la hemoglobina en los hematíes. Estas últimas se relacionan con la presión osmótica que influyen en la densidad y viscosidad que presenta (Reiriz, 2014).

Del Hoyo (2012, cita a Ockerman y cols ,1994), expone la proporción de los componentes de la sangre y se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Componentes de la sangre*

<b>Componentes</b>	<b>Sangre entera</b>
Sólidos Totales (%)	18 - 20
Proteína (%)	13 - 15
Grasa (%)	<1
Carbohidratos	<1
Sales	2
Agua (%)	80 - 82

*Nota.* Ockerman y cols (1994)

Del Hoyo (2012) menciona que la cantidad de sangre de un animal vivo depende de su especie, edad o sexo, Además explica que solo un porcentaje de la sangre es aprovechado y se relaciona con el peso vivo del animal, ya que, en el proceso de sacrificio, un porcentaje de la sangre es retenida en el cuerpo del animal (50%) y la otra se desperdicia.

Guerrero (2010) detalla los pesos aproximados del animal, el contenido de sangre respecto al peso vivo y la cantidad de la sangre escurrida al momento del sacrificio, y se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Pesos aproximados, contenido de sangre y cantidad estimada de sangre escurrida*

<b>Especie animal</b>	<b>Peso aproximado del animal (kg)</b>	<b>Contenido de sangre respecto al peso vivo (%)</b>	<b>Cantidad estimada de sangre escurrida (l)</b>
Bovino	450.00	3.00-4.00	13.50-18.00
Ternero	200.00	5.00-6.00	10.00-12.00
Porcino	90.00	3.00-4.00	2.70-3.60
Ovino	35.00-60.00	4.00-4.50	1.40-2.70
Cordero	10.00-25.00	3.50-4.00	0,40-1.00
Aves	4.00-10.00	10.00	0,40-1.00

*Nota.* Guerrero (2010)

**3.1.2.2. Características Físicas.** Según Del Hoyo (2012), la sangre del animal presenta las siguientes características, tal como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Características físicas de la sangre*

<b>Características físicas de la sangre</b>	
Densidad	1.05 kg/l
pH	7.2 – 7.5 a una T=20°C
Punto de congelación	Alrededor de -0.55 °C
Viscosidad	Entre 3.6 y 5.3 cp, de 3 a 5 veces superior a la del agua

*Nota.* Del Hoyo (2012)

### **3.1.3. Arcilla**

**3.1.3.1. Definición.** Rojas y Zarate (2015) definen a la arcilla de distintas formas:

- En el aspecto mineralógico, comprende a los minerales que están constituidos en mayor cantidad por filosilicatos, cuyas propiedades de carácter fisicoquímico están relacionados por su estructura y el tamaño muy fino (<2mm)
- En el aspecto petrológico, refiere a la roca sedimentaria proveniente de la descomposición de otras rocas preexistentes, con cualidades específicas.
- Para un ceramista, la arcilla es un elemento natural que al combinarse con agua en una proporción apropiada se obtiene como producto una masa plástica. Por otra parte, en el aspecto económico, la arcilla es material con

gran potencial tecnológico e industrial, ya que, presenta cualidades mineralógicas e intrínsecas que la resaltan.

Bergaya y Lagaly (2006) señalan que el tamaño de partícula, es un parámetro clave en todas las definiciones de arcilla, ya que no existe un límite superior generalmente aceptado. Sin embargo, algunas disciplinas y profesiones han establecido un tamaño de partícula de arcilla. En pedología, por ejemplo, “la fracción arcilla” se refiere a una clase de materiales cuyas partículas tienen un tamaño inferior a 2 mm de diámetro esférico. En geología, sedimentología y geoingeniería, el límite de tamaño suele fijarse en 4 mm, mientras que en la ciencia de los coloides se suele aceptar el valor de 1 mm.

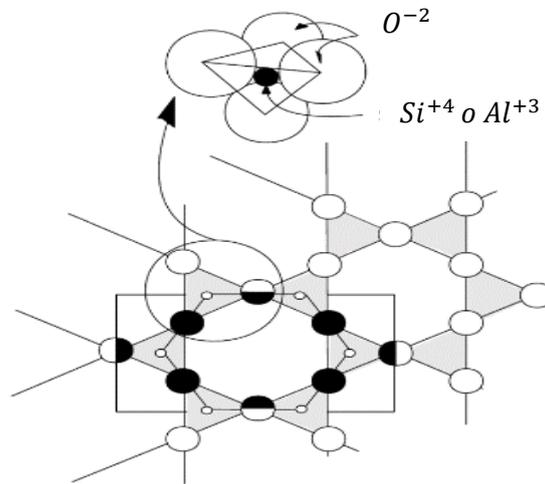
Las arcillas son uno de los adsorbentes de bajo costo más utilizados debido a su alta flexibilidad. Los estudios actuales han establecido que la capacidad de adsorción puede mejorarse modificando los adsorbentes mediante procesos físicos, térmicos y químicos (Kausar et al., 2018). Además, su capacidad de adsorción es asociada con el tipo de estructura y la carga negativa que presenta, su área superficial y la gran porosidad (Benhammou et al., 2005).

**3.1.3.2. Formación y Estructura.** En la arcilla destacan estas principales estructuras:

**3.1.3.2.1. Lamina Tetraédrica.** Esta lámina está constituida por estructuras de forma tetraédrica de  $SiO_4^{4-}$  y  $AlO_4^{5-}$  que se encuentran enlazados compartiendo 3 o 4 vértices (Velde y Meunier, 2008), tal como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Estructura de la lámina tetraédrica exhibe cavidades hexagonales*

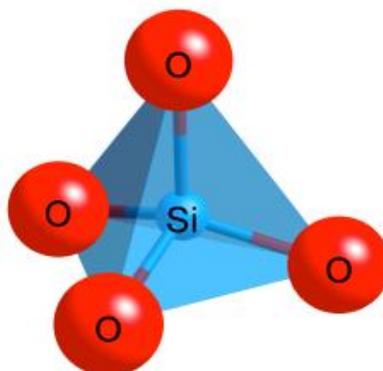


*Nota.* Velde y Meunier (2008)

Rojas y Zarate (2015, cita a McBride, 1994), señala que la estructura tetraédrica de  $SiO_4$  por medio de los enlaces cruzados del siloxano determina un arreglo laminar, la cual constituye una fracción principal de la hoja laminar de la arcilla, tal como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2**

*Estructura tetraédrica de  $SiO_4$  que constituye una fracción principal y repetitivo de la hoja laminar de la arcilla*

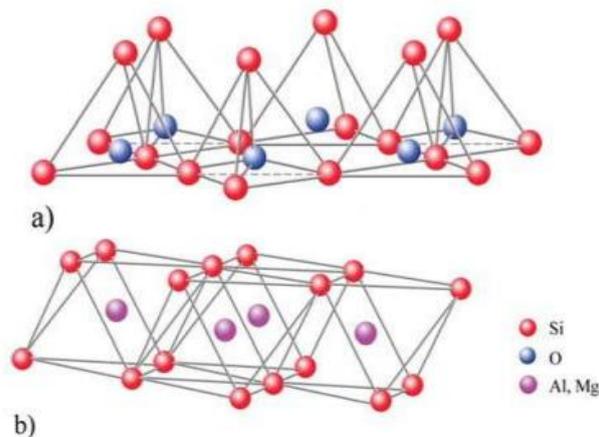


*Nota.* Mascarell (2019)

Rojas y Zarate (2015) sostienen que la estructura del tetraedro de Sílice se representa por un átomo de sílice que está equidistante a los átomos de oxígeno, las que forman enlaces de tipo iónico y covalentes, aunque la capa de valencia del oxígeno se encuentra con 7e- y no cumpliendo el octeto. Es por ello, que la presencia de cationes como  $Na^{+1}$ ,  $K^{+1}$ ,  $Li^{+1}$ , para neutralizar el compuesto de  $SiO_4^{4-}$ , en el que átomo de oxígeno se puede enlazar otro silicio, formándose estructuras múltiples y de cadena, la cual se muestra en la Figura 3.

### Figura 3

a) Estructura tetraédrica de Sílice b) Arreglo de geometría hexagonal constituidos por tetraedros de sílice

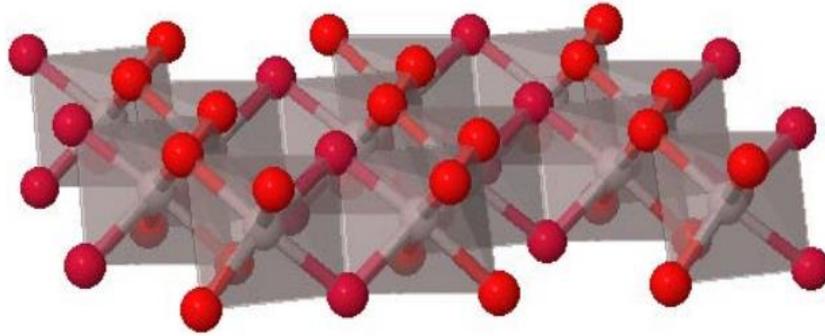


Nota. Franco y Maspoch (2009)

**3.1.3.2.2. Lámina Octaédrica.** Esta lámina está constituida por estructuras octaédricas de  $AlO_6$  que constituye una fracción principal de la capa laminar de la arcilla (Figura 4)

#### Figura 4

*Estructura octaédrica de  $AlO_6$  que constituye una fracción principal y repetitivo de la capa laminar de la arcilla*

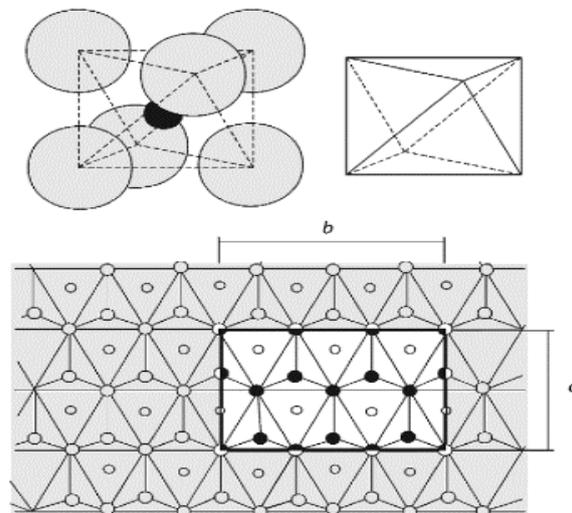


*Fuente. Gasca (2015)*

Como afirman Velde y Meunier (2008), las estructuras octaédricas tienen configuradas en el centro a un ion positivo como  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ , ya que, por su radios iónicos evidencian una coordinación 6., los que enlazados se distribuyen entre sus 6 vértices (Figura 5).

#### Figura 5

*La estructura de la lámina tetraédrica presenta cavidades hexagonales*



*Nota. Velde y Meunier (2008)*

**3.1.3.3. Clasificación de las Arcillas.** Zárate (2005) manifiesta que cerca del 95% que conforma la corteza terrestre está constituido de los silicatos, y estos son componentes de las rocas ígneas y metamórficas. Es así, que en la corteza terrestre se encuentra un aproximado de 60 átomos de oxígeno, 20 de silicio, 6 a 7 de aluminio y el resto por hierro, calcio, magnesio, sodio y potasio.

Estos minerales se constituyen por silicatos y óxidos, cuyas cualidades se relacionan con las propiedades químicas y físicas que se originaron.

**3.1.3.3.1. Silicatos.** Rojas y Zarate (2015) definen a los silicatos como los compuestos de silicio y oxígeno que se caracterizan por su geometría del tipo tetraédrica. Estos se mantienen unidos bajo el enlace covalente e iónico. Además, sostienen que la disposición de las estructuras de tetraedros permite las clasificar a los silicatos como:

- ✓ Nesosilicatos: estructuras independientes
- ✓ Sorosilicatos: cada dos tetraedros comparten un oxígeno
- ✓ Ciclosilicatos: agrupados en anillos
- ✓ Inosilicatos: agrupados en cadenas simples y dobles
- ✓ Filosilicatos: en hojas laminares
- ✓ Tectosilicatos: en armazones

Zárate (2005) señala que en el grupo de filossilicatos se encuentran las arcillas. Esto se debe por el tipo de estructura que presenta, la cual se encuentra agrupada por hojas laminares, las que se componen por dos o láminas del átomo, que son de dos tipos:

Lámina de Sílice       $2SiO_2H_2O$     Tetraedros de Silicio

Lámina de Alúmina     $Al_2O_33H_2O$     Octaedros de Aluminio

**3.1.3.3.2. Filossilicatos.** García y Suárez (2014) señalan que los filossilicatos se clasifican como bilaminares o trilaminares y dioctaedricos o trioctaedricos, como se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6

## Filosilicatos

		Dioctaédricos		Trioctaédricos	
<b>Bilaminares</b> <b>T:O</b> <b>1:1</b>	Canditas	Caolinita	Serpentinas	Antigorita	
		$Al_4Si_4O_{10}(OH)_6$		$Si_4Mg_6O_{10}(OH)_6$	
		Nacrita		Crisolito	
		Dickita		Lizardita	
		Halloysita		Bertierina	
	Pirofilita		Talco		
		Montmorillonita		Saponita	
		$Ca_{0.25}Si_4^{IV}$	Esmectitas	$Ca_{0.25}(Si_{2.5}Al_{0.5})^{IV}$	
		$(Al_{1.5}Mg_{0.5})^{VI}$		$Mg_3^{VI}$	
		$O_{10}(OH)_2$		$O_{10}(OH)_2$	
	Esmécticas				
		Bedellita		Hectorita	
		$Ca_{0.25}(Si_{2.5}Al_{0.5})^{IV}$		$Ca_{0.25}Si_4^{IV}$	
		$Al_2^{VI}O_{10}(OH)_2$		$(Mg_{2.5}Li_{0.5})^{VI}$	
				$O_{10}(OH)_2$	
<b>Trilaminares</b> <b>T:O:T</b> <b>2:1</b>		Nontronita			
			Vermiculas		
	Vermiculas		$Ca_{0.25}(Si_{2.35}Al_{1.14})^{VI}(Mg_{2.05}Al_{0.15}Fe_{0.01})^{VI}$		
			$O_{10}(OH)_2$		
				Biotita	
	Illitas			$KSi_3Al^{IV}$	
				$(MgFe^{+2})_3^{IV}O_{10}(OH)_2$	
		Moscovita	Micas	Flogopita	
		$KSi_3Al^{IV}$		$KSi_3Al^{IV}(Mg)_3^{IV}O_{10}(OH)_2$	
		$Al_2^{IV}O_{10}(OH)_2$		Lepidolita	
	Micas	Paragonita		$K(Si_{2.5}Al_{0.5})^{IV}$	
		$NaSi_3Al^{IV}$		$(Al_{1.25}Li_{1.25})^{IV}O_{10}(OH)_2$	
		$Al_2^{IV}O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$			
<b>T:O:T:O</b> <b>2:1:1</b>	Cloritas		$(Fe, Mg, Al)_6$		
			$(SiAl)^{IV}O_{10}(OH)_6$		
<b>Fibrosos</b>	Paligorskita		Sepiolita		
	$(Mg, Al)_2Si_4O_{10}(OH)_6$				

Nota. García y Suárez (2014)

**3.1.3.4. Propiedades Fisicoquímicas.** García y Suárez (2014) señalan que la versatilidad de las arcillas en la industria, se deben a sus propiedades internas como; el tamaño de partícula, morfología laminar y las sustituciones isomórficas que presentan en su capa. En efecto, las arcillas presentan una mayor área superficial que facilita el contacto con otras sustancias, el hinchamiento y la deformación de la arcilla. Además, su morfología laminar permite que la arcilla pueda compensar la carga del sistema con la entrada de cationes.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, las propiedades fisicoquímicas son:

- **Superficie Específica**

Esta propiedad se describe como el área total de la superficie de las partículas de arcilla por unidad de masa ( $m^2/g$ ). Asimismo, esta cualidad permite una mejor interacción entre sólido y líquido para su aplicación tecnológica e industrial

La arcilla montmorillonita presenta un área específica que varía de 80-300  $m^2/g$ )

- **Capacidad de Intercambio Catiónico**

Se define como la capacidad de intercambiar iones que se encuentran en la celda unitaria, en sus espacios laminares o localizados en la estructura de la arcilla. Su equivalente resulta de la suma total de las cargas negativas que presenta la arcilla, las que se generan por sus enlaces insaturados, la ruptura de grupos hidroxilos o las sustituciones isomórficas.

- **Capacidad de Absorción**

Es la capacidad de retención que se asocia a las propiedades de superficie específica y la porosidad, la cual constituye un proceso físico conocido como capilaridad

- **Hidratación e Hinchamiento**

Estas propiedades están enlazadas con el fenómeno de absorción, lo que señala que cuando se alterna las capas de agua, los espacios interlaminares aumentan, lo que resulta el hinchamiento y la disociación que puede ocurrir entre los cristales.

- **Plasticidad**

Esta propiedad se asocia al tamaño de partícula, el fenómeno de hinchamiento y la superficie específica, lo que provoca el efecto resbaladizo de las partículas constituyentes de las láminas, permitiendo así su mejor desplazamiento

- **Tixotropía**

Es la capacidad que tienen las arcillas de volver a su estado original, es decir, recuperar su resistencia y estructura inicial luego de ser amasadas.

### **3.1.4. Adsorción**

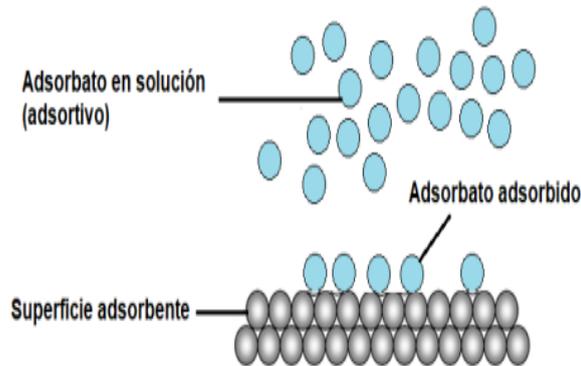
Worch (2012) describe como el enriquecimiento de especies químicas de una fase fluida en la superficie de líquido o un sólido. El material sólido que proporciona la superficie de adsorción se denomina adsorbente, las especies que serán adsorbidas se denominan adsorbato (Figura 6).

La adsorción es un fenómeno superficial, dado que el adsorbato se acumula en la superficie del sólido o interfase (Ramos, 2007), la que depende de la interacción entre la superficie y adsorbato. Estas interacción pueden ser: hidrofóbicas, fuerza intermolecular débil o Vander Waals, enlace de hidrógeno y enlace químico (Román, 2021).

Román (2021) menciona que las propiedades del adsorbato al igual que las del sólido adsorbente, favorecen a la capacidad de adsorción. Tales es el caso de la concentración del adsorbato, la superficie específica del adsorbente.

## Figura 6

### Adsorción



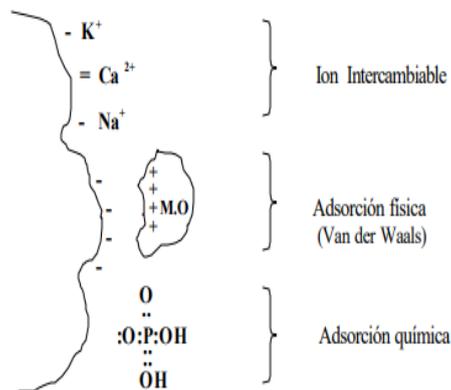
**3.1.4.1. Tipos de Adsorción.** Pérez (2017) señala que existen dos tipos de adsorción, tal como se muestra en la Figura 7.

**3.1.4.1.1. Fisorción.** Se caracteriza por las fuerzas intermoleculares de Van der Waals y las de atracción eléctricas que se dan entre el adsorbato y la superficie del adsorbente. Es por ello, se consideran como reversibles y se mantiene la identidad de las moléculas. Además, presentan baja entalpía adsorción y los sitios de adsorción no son exclusivos.

**3.1.4.1.2. Químisorción.** Las fuerzas que predominan entre el adsorbato y la superficie del adsorbente es la producida por el enlace químico, lo que lo caracteriza como un proceso irreversible, es decir, las especies químicas no mantienen su identidad y el producto es específico. El resultado es la presencia de una monocapa de adsorbato sobre el la superficie del adsorbente. Se distingue de la fisorción por su alta entropía y la influencia de la temperatura, ya que, esto ocurre a altas temperaturas.

## Figura 7

### Tipos de adsorción



Nota. Zárate (2005)

**3.1.4.2. Factores que Intervienen en la Adsorción.** Los factores pueden ser influenciados por el adsorbato, adsorbente y por el contacto entre la fase fluida y sólida

**3.1.4.2.1. Factores del Adsorbato.** Entre los factores se encuentran:

- **Naturaleza del Adsorbato.** Una de la propiedad fundamental que influye en el proceso de adsorción es la solubilidad que presenta el soluto. Existe una correlación inversa en la capacidad de adsorción del soluto y la solubilidad en el disolvente, dando como resultado el proceso de adsorción. Es así, que es necesario la ruptura del enlace que presenta el soluto con el disolvente. La solubilidad presenta una relación directa con el enlace del soluto- disolvente e inversa con el grado de adsorción (Camino, 2022).
- **Concentración.** La concentración del catión en el adsorbente y el medio acuoso es determinante para el proceso de adsorción. Es por ello, la fuerza iónica define la intensidad en este proceso, su incremento provoca que la capa difusa se comprima, y desencadene el decaimiento del potencial eléctrico respecto a la distancia a la superficie. La superficie potencial depende de la concentración que presenta el adsorbato y la carga de la superficie de las especies (Rojas y Zarate, 2015).

- **Polaridad del Solute.** Considera que la polaridad del soluto influye en la adsorción, ya que, el soluto elegirá la fase que sea más polar. El soluto polar presentara una mayor adsorción por un adsorbente polar, cuando este un disolvente polar (Miranda, 2012).
- **Efecto de los Iones.** Guevara (2010, cita a Park et al., 2010), explica que los iones condicionan el proceso de adsorción, puesto que, estos presentan una mejor afinidad por ciertos grupos funcionales, uniéndose más rápido que el metal y compitiendo por sitios de adsorción.

**3.1.4.2.2. Factores del Adsorbente.** Entre los factores se encuentran:

- **Área Superficial.** Camino (2022) señala que, en el proceso de adsorción, una masa se desplaza de una fase para concentrarse en otra. Así también, la reacciones que ocurren en la superficie van a depender de las fuerzas activas de los límites de fase. Por ello, la adsorción se llevará a cabo si el adsorbato es surfactante, ya que, al reducir la tensión superficial del líquido se desplazará hacia el borde de la fase líquida.
- **Tamaño de Poros.** Hernández et al. (2005) afirman que la clasificación de los poros es la adoptada por la Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC, (Tabla 7) y se clasifica como:

**Tabla 7**

*Clasificación de los poros*

<b>Clasificación de los poros</b>	
Microporos	Anchura de poro media $< 20\text{\AA}$ ( $2\text{nm}$ )
Mesoporos	Anchura de poro media $20 - 500\text{\AA}$ ( $2 - 50\text{nm}$ )
Macroporos	Anchura de poro media $> 500\text{\AA}$ ( $> 50\text{nm}$ )

*Nota.* Hernández et al. (2005)

- **Volumen de Poros.** Rojas y Zarate (2015) describen como el volumen que ocupan los adsorbatos que se encuentran dentro del adsorbente a una

presión específica, lo cual se expresa como el volumen que ocupan los poros por unidad de masa  $cm^3 \cdot g^{-1}$

- **Dosificación del Adsorbente.** Guevara (2010, cita a Sari y Tuzen, 2008), manifiesta que el proceso de adsorción estará condicionado por la cantidad de biomasa del adsorbente. La cantidad de biomasa favorecerá a la cantidad de sitios activos que puede presentar el adsorbente y que estos puedan ser ocupados, produciéndose en menos tiempo la adsorción. No obstante, una mayor cantidad de bioadsorbente provoca una disminución en área específica, afectando la adsorción.

**3.1.4.2.3. Factores de Contacto entre Fase Fluida y Sólida.** Entre los factores se encuentran:

- **Potencial Hidrógeno.** Rojas y Zarate (2015) sostienen que el potencial de hidrogeno afecta al proceso adsorción, ya que, puede influir en la variación del estado químico del sitio activo. Además, los valores extremos que puede presentar el pH, provocarían la disminución en la adsorción, así como la pérdida del peso y la distorsión de las células.
- **Temperatura.** La temperatura influye en el proceso de adsorción, la cual se relaciona con variación de la energía (entalpía). La adsorción desarrolla un proceso exotérmico, lo que indica la salida del calor al sistema. El material que se acumula en la superficie se encuentra influenciado por la tasa de adsorción del material y la tasa a la cual se libera en el estado de equilibrio (Miranda, 2012).
- **Tiempo de Contacto.** Es el tiempo que permanece en contacto el adsorbente con el adsorbato, alcanzando un equilibrio de adsorción (Savy et al., 2012).

### 3.2. Marco Conceptual

- **Arcilla.** Es un material de origen natural, compuesto principalmente de minerales de grano fino (filosilicatos), que suele ser plástico con un contenido de agua adecuado y se endurece al secarse o cocerse (Al y Sarapää, 2008).
- **Arcilla Activada.** Son minerales arcillosos que fueron activados con ácido, la cual pertenecen al grupo de montmorillonita que tienen estructura mesoporosa (Tsai et al., 2003).
- **Adsorción.** Este proceso consiste en la retención de partículas en la superficie de una sustancia, es así que estas partículas que inicialmente se encontraban en una fase se depositan en otra (Gonzales, 2010).
- **Sangre.** Es una mezcla compleja, la cual se constituye en mayor proporción de plasma, contiene elementos celulares suspendidos como glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas (Izaguirre, 2016).
- **Materia Orgánica.** Son mezclas complejas que poseen combinaciones únicas de varios grupos funcionales, como esteroides, fenoles, quininas, carboxilos, hidroxilos, aminos y nitrosos, que suelen tener carga negativa en un pH neutro (Sillanpa, 2015).
- **Camal.** Es un establecimiento donde se realiza el sacrificio de ganado vacuno y animales menores con las consideraciones técnicas y sanitaria que se exigen para su funcionamiento (Hernández, 2018).
- **Color.** Es un parámetro del agua que se percibe por los sentidos, que se altera con la existencia de partículas suspendidas, disueltas o coloidales (Osorio y Martínez, 2018).
- **DBO.** Es la cantidad de oxígeno, expresada en mg/L o partes por millón (ppm), que las bacterias toman del agua cuando oxidan la materia orgánica (Hach et al., 1997).

- **DQO.** Es un parámetro importante para determinar la contaminación orgánica del agua y se aplica en la medición de cargas residuales de las plantas de tratamiento, procesos de tratamiento, análisis de aguas de lagos y arroyos (Boyles, 1997).
- **Potencial  $\zeta$ .** Es denominado como potencial electrocinético en el plano de deslizamiento o corte de una partícula coloidal que se mueve bajo un campo eléctrico (Bhattacharjee, 2016).
- **Punto de Carga Cero (PCC).** Es el valor de pH, en el que la carga superficial neta de los protones es igual a cero (Sposito, 1998).
- **Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).** Es conocida como análisis SEM y se utiliza para materiales orgánicos e inorgánicos a escala nanométrica o micrométrica (Abdullah y Mohammed, 2019).
- **Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier.** Es un método de espectroscopía Infrarroja (IR), la cual hace pasar radiación IR a través de una muestra, el resultado del espectro representa la huella dactilar de la muestra (Dutta, 2017).

## Capítulo IV: Metodología de la Investigación

### 4.1. Tipo

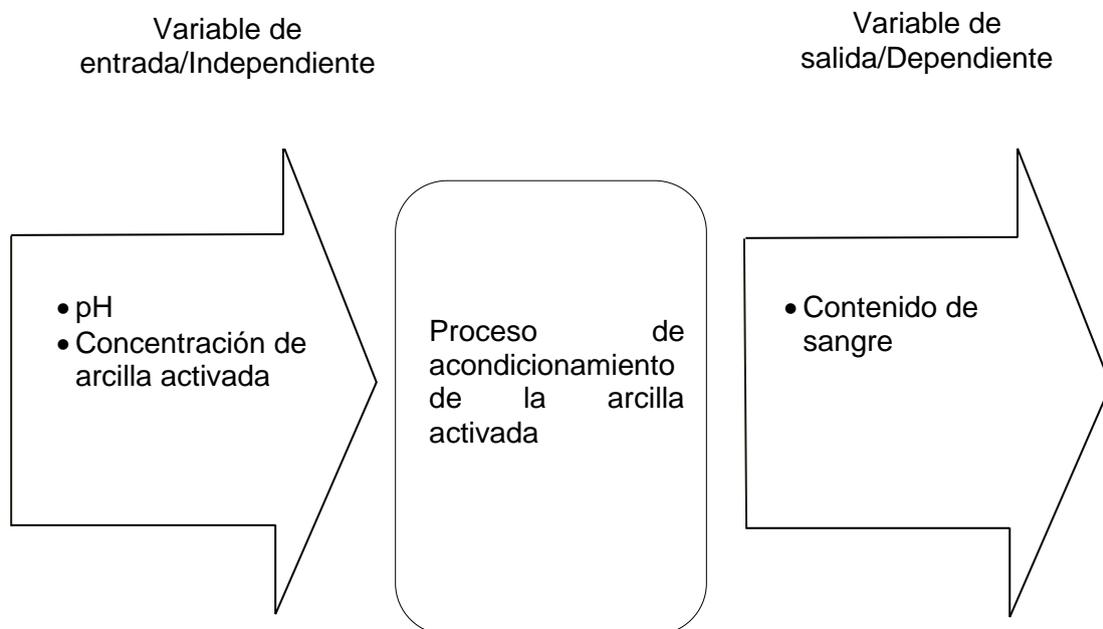
La presente tesis es del tipo aplicada, puesto que, esta investigación persigue una finalidad de resolver la problemática de contaminación de las aguas superficiales por la sangre residual del proceso de faenado del camal y en donde se pretende evidenciar las características potenciales de la nanoarcilla activada en el tratamiento de estos efluentes (Hernandez et al., 2015).

### 4.2. Diseño de Investigación

Las variables de entrada y de salida se describen en la Figura 8.

#### Figura 8

*Variables Independientes y dependientes de la investigación*



El diseño de la investigación corresponde al experimental puro del tipo factorial, en la que existe la manipulación de la variable independiente y la equivalencia de los grupos (Hernandez et al., 2015 , p.137).

Este estudio presenta un diseño factorial de  $2^2$ , lo que da como resultado a cuatro tratamientos que se obtienen de la combinación del factor porcentaje de nanoarcilla activada con el pH (Figura 9).

### Figura 9

Esquema de diseño factorial de  $2^2$

		$pH_1$	$pH_2$
		$pH$	
$N.A$	$\%_1 N.A$	$\%_1 N.A pH_1$	$\%_1 N.A pH_2$
	$\%_2 N.A$	$\%_2 N.A pH_1$	$\%_2 N.A pH_2$

Donde:

$\%_1 N.A$  : 5 mg

$\%_2 N.A$  : 10 mg

$pH_1$ : 6

$pH_2$ : 8

### 4.3. Operacionalización de Variables

Tabla 8

*Operacionalización de las variables de la investigación*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
<b>Potencial de hidrogeniones V.I</b>	Es una medida adimensional que expresa la cantidad de iones de hidrogeno en una solución. Asimismo, mide el nivel de alcalinidad o basicidad que presenta dicha muestra(Choque, 2021)	Es el grado de acidez y basicidad que presenta el agua residual.	Potencial de hidrogeniones	Escala de pH - 6 - 8	Escala de Intervalo
<b>Nanoarcilla activada V.I</b>	La nanoarcilla pertenece a un conjunto de compuestos minerales de aluminosilicato(Tuesta et al., 2005), esta posee la propiedad de adsorción y al someterse a un tratamiento acido, mejora esta característica (Martinez, 1999).	Es la concentración de nanoarcillas activadas que se utilizaran en un rango de 50 y 100 mg/L para mejores resultados de remoción.	Concentración de nanoarcilla activada	Concentración de nanoarcilla activada  - 5 mg y 10 mg	Razón
<b>V D Contenido de sangre del camal</b>	Su composición aproximadamente es de 80% de agua y el resto de materia seca, de la que el 60% son glóbulos sanguíneos, el 30% es albúmina, y el 5% son sustancias inorgánicas, siendo	Es un indicador de contenido de sangre y la cantidad de materia orgánica contenida en el agua residual a tratar.	Color	Porcentaje de remoción de Color	Razón
			Materia Orgánica	-Demanda Bioquímica de Oxígeno -Demanda Química de Oxígeno	Escala de intervalo

---

el resto lípidos (2%) y otras  
proteínas (Espinosa, 2011).

---

-Carbono Orgánico Total

#### **4.4. Lugar de Ejecución**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación en Materiales Avanzados para el Tratamiento de Aguas y Alimentos (LIMTA) y en el Laboratorio de Investigación de Nanotecnología de Alimentos (LINA) de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), que se encuentra en la localidad de Santa Rosa, del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

#### **4.5. Material de Estudio**

##### **4.5.1. Población**

- Caso simulado: se consideró como población al agua residual simulada con sangre vacuno
- Caso práctico: se consideró al agua residual procedente del camal de San Jerónimo, Andahuaylas.

##### **4.5.2. Muestra**

- Caso simulado: se recogió la sangre de vacuno en una solución de agua destilada en una proporción de 1 ppm.
- Caso práctico: se recogió una muestra de un 1L del efluente del camal de San Jerónimo

##### **4.5.3. Muestreo**

- Caso simulado: se tendrá un muestreo del tipo no probabilístico, puesto que se recogió la sangre a una concentración determinada (ppm) que facilitó en el acondicionamiento del experimento.
- Caso práctico: se tendrá un muestreo del tipo probabilístico, puesto que, se recogió, un litro de agua residual de manera aleatoria.

#### **4.6. Materiales, Equipos y Reactivos**

Los materiales, equipos y reactivos que se utilizaron para llevar a cabo esta investigación se detallan de la siguiente manera:

#### 4.6.1. Materiales

Los materiales que fueron utilizados en la presente investigación se detallan en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Materiales*

<b>N°</b>	<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
1	Vaso precipitado de 100 ml	10 unidades
2	Vaso precipitado de 250 ml	10 unidades
3	Vaso precipitado de 500 ml	4 unidades
4	Vaso precipitado de 1000 ml	4 unidades
5	Micropipetas automatizadas de 10 a 100 $\mu$ l	1 unidad
6	Probetas de 50 ml	2 unidades
7	Probetas de 100 ml	2 unidades
8	Probetas de 500 ml	2 unidades
9	Botellas para DBO	10 unidades
10	Luna de reloj	10 unidades
11	Mortero con Pilon	2 unidades
12	Placa Petri	3 unidades
13	Tubos de Centrifuga de 50 ml	6 unidades
14	Pisetas	4 unidades
15	Frascos de polietileno para la conservación de muestras	3 unidades
16	Goteros	3 unidades
17	Crisoles de cerámica	16 unidades
18	Fibra de Vidrio	1 paquete
19	Kitasato de 25 ml	2 unidades
20	Parafilm	Un rollo
21	Viales de digestión para DQO	32 unidades
22	Papel Filtro de 47 mm de diámetro	1 paquete
23	Papel aluminio	1 caja
24	Papel Tissue	1 caja
25	Guantes de nitrilo	2 cajas
27	Jeringas de 3 ml	1 paquete
28	Jeringas de 10 ml	1 paquete
29	Jeringas de 20 ml	1 paquete
30	Tubos de ensayo	10 unidades
31	Cinta Masking Tape	1 unidad
32	Tijera	2 unidades
33	Fiolas de 25 ml	2 unidades
34	Fiolas de 50 ml	2 unidades
35	Fiolas de 250 ml	8 unidades
36	Papel Toalla de Laboratorio	2 unidades
37	Bata desechable	3 unidades
38	Jabón Líquido	2 unidades
39	Kooler de plástico	1 unidad

40	Botellas para DBO	10 unidades
41	Embudo buchner	1 unidad

#### 4.6.2. Equipos

Los equipos que se utilizaron en la presente investigación se detallan en la Tabla 10.

**Tabla 10**

#### *Equipos*

N°	Equipos	Cantidad	Marca
1	Balanza analítica	1 unidad	Pioner (OHAUS)
2	Refrigeradora	1 unidad	LG
3	Agitadores magnéticos termostizado	8 unidades	CAT(M6)
4	Refractómetro de mesa	1 unidad	ISOLAB
5	Colorímetro	1 unidad	Konica Minolta
6	Fotómetro	1 unidad	Iris- Hanna
7	Estufa de secado	1 unidad	Binder
8	FTIR	1 unidad	Prisma E(Thermo Fisher, Massachusetts, USA)
9	Espectrómetro UV	1 unidad	Thermo scientific
10	Centrifugadora refrigerada	1 unidad	BIORIDGE
11	Vortex	1 unidad	ISOLAB
12	Destilador de agua	1 unidad	RELES
13	Sensor de BOD	1 unidad	VELP
14	Desecador	1 unidad	SPECAC
15	Potenciómetro	1 unidad	Hanna HI5521
16	Determinador de Carbono Orgánico Total	1 unidad	SHIMADZU
17	Bomba de vacío	1 unidad	TECNAL
18	Sonicador	1 unidad	VIBRA CELL
19	Digestor	1 unidad	Hanna
20	Zetasizer Ultra	1 unidad	Malvern

#### 4.6.3. Reactivos

Los reactivos que se utilizaron en la presente investigación se detallan en la Tabla 11.

**Tabla 11**  
*Reactivos*

<b>N°</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Cantidad</b>
1	Cloruro Férrico	1 frasco
2	Sulfato de magnesio	1 frasco
3	Cloruro de Calcio	1 frasco
4	Cloruro de Amonio	1 frasco
5	Fosfato dipotásico Heptahidratado	1 frasco
6	Fosfato mono potásico	1 frasco
7	Sulfato de mercurio	1 frasco
8	Bromuro de Potasio	1 frasco
9	Sulfato de Plata	1 frasco
10	Ácido Sulfúrico	1 frasco
11	Hidróxido de Sodio	1 frasco
12	Cloruro de Sodio	1 frasco
13	Ácido Fosfórico	1 frasco
14	Ácido Clorhidrico	1 frasco
15	Etanol de 96 °	2 litros
16	Agua destilada	5 litros
17	Agua Estéril	4 litros

## 4.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

### 4.7.1. Técnicas Experimentales

**4.7.1.1. Recolección de Sangre.** Se recolectó sangre proveniente de la actividad de faenamiento realizado en el camal municipal del distrito de San Jerónimo, se almacenó en un frasco de vidrio tipo ámbar de un litro de capacidad, que estuvo previamente esterilizado, para evitar contaminación de la muestra. La solución de sangre presentó una concentración de 1 ppm y se utilizó para el caso simulado de agua con sangre.

**4.7.1.2. Recolección del Agua Residual con Sangre del Camal.** En el camal municipal cuenta con un tanque séptico con tres separaciones por donde pasan los efluentes de agua residual con sangre haciendo un tratamiento preliminar de retención de grasas y sólidos de gran tamaño, Se recolectó agua residual con sangre de la primera separación, el cual se almacenó en un recipiente de vidrio de tipo ámbar previamente esterilizado cuya capacidad es de un litro. Esta agua residual se utilizó para las pruebas experimentales del caso práctico.

**4.7.1.3. Tratamiento y Activación de la Nanoarcilla.** La metodología desarrollada para el tratamiento y activación de nanoarcilla es la propuesta por Choque et al. (2022), con algunas modificaciones y se procedió en dos etapas:

**4.7.1.3.1. Etapa I.** La arcilla natural recolectada se molió en un molino planetario PM 100, a 250 rpm en un tiempo de 10 min, con un intervalo de rotación de 2 min, las muestras molidas se tamizarán a 125 micras. La muestra tamizada se trató con  $H_3PO_4$  al 10% para eliminar la materia orgánica en una proporción de 1.0 g de arcilla/4.0 ml de ácido y se agitó a 300 revoluciones por minuto a 60°C durante 6h; posterior a ello, se llevó a centrifugar a 22°C, en intervalos de 20 min con unos 9000 rpm, se enjuagó con abundante agua ultrapura hasta alcanzar un pH de 7, y se secó a 60°C (Figura 10).

**4.7.1.3.2. Etapa II.** La arcilla tratada se activó con una solución de NaCl a 1.0 M en una proporción de 1.0 g de arcilla/5 ml de NaCl y se sonicó en intervalos de 10 minutos a una amplitud de 30%. Luego, se agitó a 200 rpm durante 60 min a una temperatura ambiente y se vació su contenido en tubos cónicos, se procedió a homogeneizar en el Vortex a 3000 rpm. La solución homogeneizada se llevó a centrifugar a 22°C, en intervalos de 30 min, el cual se enjuagó con abundante agua ultrapura hasta lograr una conductividad menor a **10 $\mu$ S/cm** y se secó a una temperatura de 60°C, obteniéndose la arcilla activada (Figura 11)

Figura 10

Flujograma del Tratamiento de la arcilla

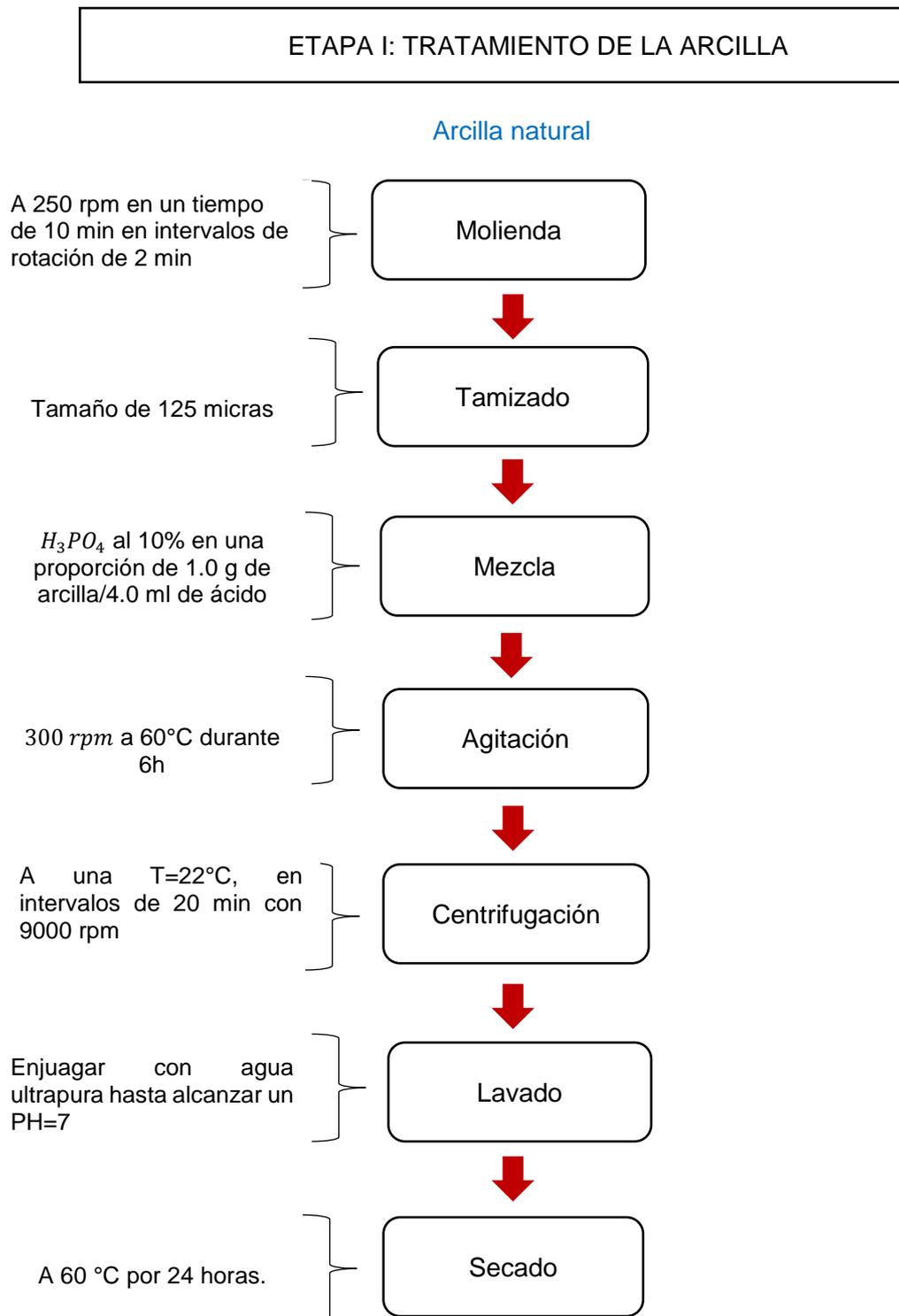
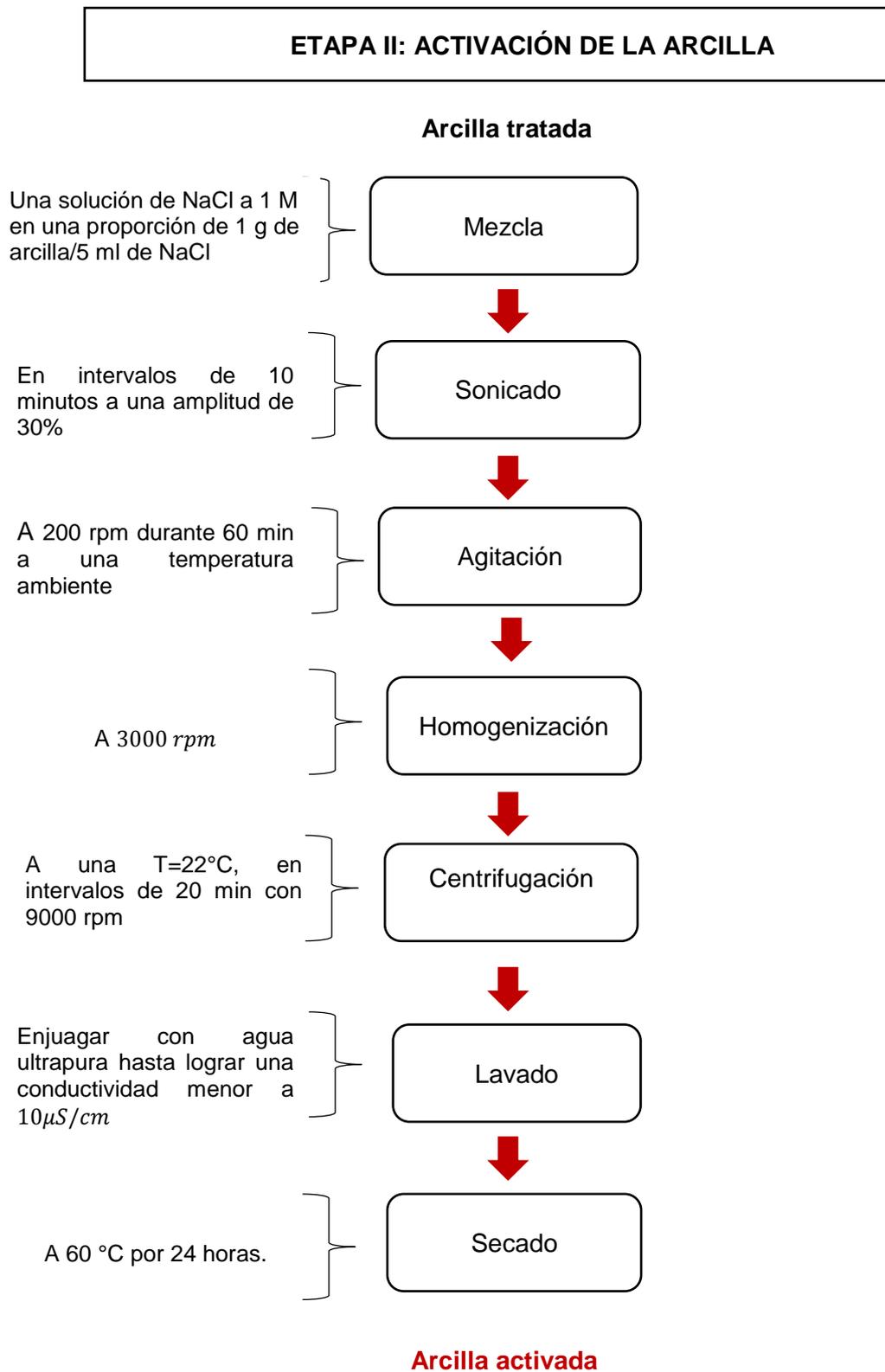


Figura 11

*Flujograma de la activación de la arcilla*

#### **4.7.1.4. Caracterización de la Nanoarcilla Activada**

**4.7.1.4.1. Punto de Carga Cero (PCC).** Se utilizó el método realizado por Ligarda et al. (2022) para la determinación del PCC con ligeras modificaciones:

Se ajustó la muestra de 50 ml de agua desionizada a pH con valores de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 12 con NaOH (0.1 M) y HCl (0.1 M), posterior a ello, se adicionó 0.05 g de arcilla y se llevó a agitación constante durante 24 h a 80 rpm y a temperatura ambiente. Finalmente, se analizó el pH resultante para obtener su variación con respecto al valor inicial.

**4.7.1.4.2. Tamaño de Partícula y Potencial Zeta  $\zeta$ .** Se usó la metodología propuesta por Choque et al. (2022) con ligeras modificaciones:

Una muestra de 0.05 g de arcilla fue dispersada en 50 ml de agua desionizada, la cual se ajustó a pH de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 12 con NaOH (0.1 M) y HCl (0.1 M) y se llevó a ultrasonido por 5 min a temperatura ambiente. En seguida, se tomó un alícuota en un capilar y se determinó el diámetro hidrodinámico y su distribución de tamaño mediante la dispersión de luz dinámica en el Zetasizer Ultra, además se tomó 2 ml en una celda de poliestireno y se llevó a lectura en el mismo equipo la medida del potencial  $\zeta$ .

**4.7.1.4.3. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).** El método que se utilizó es el propuesto por Ligarda et al. (2022), donde la morfología de la arcilla se analizó en un microscopio electrónico de barrido (SEM) a un voltaje de aceleración de 25 kV y un aumento de 1000x. Por otra parte, se analizó químicamente la superficie de las partículas de la arcilla activada mediante el módulo de espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDX).

#### **4.7.1.4.4. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).**

La muestra de arcilla se secó en el horno a 80°C, luego se mezcló con KBr para la formación de gránulos, que permitió el análisis de los grupos funcionales con el espectrómetro infrarrojo transformado de Fourier (FTIR), lo cual promedió los 32 escaneos y midió los datos de absorbancia en un rango de 400 a 4000  $cm^{-1}$  (Çakmak et

al., 2017).

**4.7.1.5. Acondicionamiento del Experimento.** Se siguió la metodología propuesta por Çakmak et al. (2017) con algunas modificaciones:

**4.7.1.5.1. Caso simulado.** En primer lugar, se realizó el tratamiento inicial, el cual consistió en la preparación de una solución de 1 ppm de sangre en agua destilada, se ajustó el pH a 6 y 8, con NaOH y HCl. Las soluciones se filtraron al vacío y se agregó arcilla de acuerdo a la Figura 11, se agitó durante 1 min. Las pruebas fueron realizadas para AA y AN y se procedió a las mediciones y análisis correspondientes. Por otra parte, en el tratamiento final, se agitó a 80 rpm durante 1h a temperatura ambiente y se dejó sedimentar durante 24 horas. Posterior a ello, se obtuvo dos fases: el precipitado de arcilla y el sobrenadante. Se extrajo el sobrenadante y se procedió a filtrar al vacío. Las soluciones filtradas se usaron para los análisis experimentales.

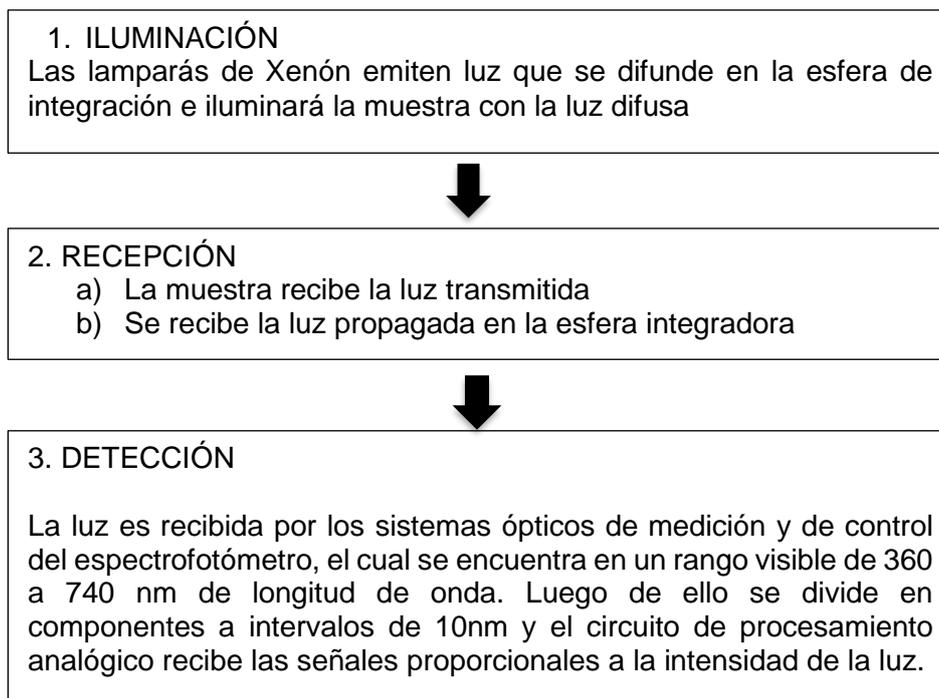
**4.7.1.5.2. Caso práctico.** En el tratamiento inicial, se utilizó una solución de agua residual con sangre (1L) procedente de los efluentes del camal. Se ajustó el pH a 6 y 8, con NaOH y HCl. Las soluciones se filtraron al vacío y se agregó arcilla de acuerdo a la Figura 11, se agitó durante 1 min. Las pruebas fueron realizadas para AA y AN y se procedió a las mediciones y análisis correspondientes. Por otra parte, en el tratamiento final se agitó a 80 rpm durante 1h a temperatura ambiente y se dejó sedimentar durante 24 horas. Posterior a ello, se obtuvo dos fases: el precipitado de arcilla y el sobrenadante. Se extrajo el sobrenadante, y se procedió a filtrar al vacío. Las soluciones filtradas se usaron para los análisis experimentales.

#### **4.7.2. Técnicas de Análisis**

**4.7.2.1. Determinación del Color.** Las muestras del caso simulado y caso práctico procedentes del tratamiento inicial y final, se colocaron en la cubeta y se midió el color a 460 nm, tomando como dato la transmitancia, el cual presenta el siguiente esquema de geometría óptica, tal como se muestra en la Figura 12 (Tesillo, 2022)

**Figura 12**

*Esquema de geometría óptica del espectrofotómetro*



*Nota. Tesillo (2022)*

#### **4.7.2.2. Determinación de Materia Orgánica**

**4.7.2.2.1. Determinación del DQO.** Este parámetro se midió con el kit de la marca Hanna, la cual se basa en el método colorimétrico cerrado bien establecido de dicromato – reflujo. Se agregó la muestra al vial de reactivo y se digirió en condiciones de reflujo cerrado, se dejó enfriar antes de tomar la medición. Los estándares de referencia se pueden realizar con Ftalato de hidrogeno y potasio (KHP),

Para la determinación de su valor se procedió a realizar la conversión (Hanna Instruments, 2022)

1 mg de KHP = 1.175 mg de DQO

**4.7.2.2. Determinación del Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** Se usó la metodología propuesta por la Asociación Estadounidense de Salud Pública, el cual se basa en el método Oxímetro, cuya unidad de representación es mg/l. Este consiste en el llenado de una disolución adecuada de la muestra en un frasco hermético y la incubación a una temperatura de 20°C en un periodo de 5 días. (Choque,2016)

El cálculo del DBO se obtuvo de la diferencia entre el oxígeno disuelto (OD) antes y después de la incubación, en donde el procedimiento para el cálculo del DBO es la siguiente:

- **Preparación de Tampón Fosfato**

Se disolvió 8.5 g de  $KH_2PO_4$ , 21.75 g de  $K_2HPO_4 \cdot 7H_2O$  y 1.7 g de  $NH_4Cl$  en 500 ml de agua destilada y se aforó a 1 litro. Además, se ajustó a un pH de 7.2.

- **Preparación de Cloruro Férrico**

Se disolvió 0.25g de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  en agua destilada y se aforó a un 1 litro

- **Preparación de Sulfato de Magnesio**

Se disolvió 22.5 g de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  en agua destilada y se aforó a un 1 litro

- **Preparación de Cloruro de Calcio**

Se disolvió 27.5 g de  $CaCl_2$  en agua destilada y se aforó a un 1 litro

- **Preparación del Agua de Disolución**

Se colocó 200 ml de agua en un frasco Winkler de 300 ml y se añadió por cada litro de agua, 10 ml de cada una de las siguientes disoluciones como cloruro de calcio, sulfato de magnesio, cloruro férrico y el tampón fosfato, que se saturó con oxígeno agitando el frasco en un periodo de 10 minutos como mínimo.

Se determinó la cantidad de Oxígeno Disuelto inicial en todas las disoluciones de la muestra y dos muestras en blanco por el método del electrodo de membrana con el oxímetro. Posterior a ello, se incubó a 20°C durante un periodo de 5 días manteniendo el sello hidráulico colocando un globo N° 07 en la parte superior de la botella.

La determinación del DBO se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$DBO \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{\text{fracción volumetrica decimal de la muestra utilizada}} \dots (1)$$

**4.7.2.2.3. Determinación del Carbono Orgánico Total.** Se estudió 0.05 ml de las muestras de aguas en el equipo analizador de carbono orgánico total TOC-L CSN-SSN 5000 A, con un flujo de oxígeno de 150ml/min a través del software TOC LV.1.0.7 (Ligarda-Samanez et al., 2022).

**4.7.2.3. Determinación del pH.** El potencial de hidrogeniones se midió con el potenciómetro digital, de las muestras procedentes del caso simulado y caso práctico correspondiente al tratamiento inicial y final para la determinación de su variación.

**4.7.2.4. Eficiencia de Adsorción y Capacidad Máxima del Adsorbente.** Según Çakmak et al. (2017), la eficiencia de adsorción de la arcilla ( $Y_a$ ) y la capacidad máxima del adsorbente ( $q_t$ ) se expresan a través de la ecuaciones (2) y (3).

$$Y_a = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

$$q_t = \frac{V (C_0 - C_t)}{M} \dots \dots \dots (3)$$

Donde  $C_0$  es la concentración inicial de la sangre (mg/L),  $C_t$  es la concentración en un momento determinado  $t$  (mg/L),  $V$  es el volumen de la solución (L) y  $M$  es la masa de la nanoarcilla activada (g).

## 4.8. Procesamiento y Análisis de Datos

### 4.8.1. ANVA de Dos Factores con Interacciones

Se evaluó los datos a través del análisis de varianza de dos factores, cuyo objetivo fue la determinación de las variaciones de los tratamientos a un nivel de significancia del 5%. Para ello, se aplicó la hipótesis estadística a las variables y su interacción.

**4.8.1.1. Prueba de Hipótesis.** Se analizó el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente.

- **Efecto del potencial de hidrogeniones.** Se evaluó a través de la hipótesis nula y alterna:

**La Hipótesis Nula,  $H_0: \mu_i = \mu_j$ ;** El pH no presenta efecto significativo sobre la remoción de la sangre de aguas residuales.

**Hipótesis Alterna,  $H_A: \mu_i \neq \mu_j$ ;** El pH presenta efecto significativo sobre la remoción de la sangre de las aguas residuales.

- **Efecto de la Concentración de Nanoarcilla Activada.** Se evaluó a través de la hipótesis nula y alterna:

**Hipótesis Nula,  $H_0: \mu_i = \mu_j$ ;** La concentración de nanoarcilla activada no presenta efecto significativo sobre la remoción de la sangre de las aguas residuales.

**Hipótesis Alterna,  $H_A: \mu_i \neq \mu_j$ ;** La concentración de nanoarcilla activada presenta efecto significativo sobre la remoción de la sangre de las aguas residuales.

- **Efecto de la Interacción del pH y la Concentración de Nanoarcilla Activada.** Se evaluó a través de la hipótesis nula y alterna:

**Hipótesis nula,  $H_0: \mu_i = \mu_j$ ;** El pH y la concentración de nanoarcilla activada no presentan efecto significativo sobre la remoción de la sangre de las aguas residuales.

**Hipótesis alterna,  $H_A: \mu_i \neq \mu_j$ ;** El pH y la concentración de nanoarcilla activada

presentan efecto significativo sobre la remoción de la sangre de las aguas residuales.

Asimismo, se evaluarán los efectos de las variables de entrada (pH, concentración de la nanoarcilla activada) sobre la variable respuesta que representa la remoción sangre de las aguas residuales.

Si el resultado los tratamientos presenta diferencia significativa, se realizará la prueba Tukey de comparaciones múltiples a un nivel de significancia del 5%.

#### **4.8.2. Superficie de Respuesta**

La metodología de superficie de respuesta se utilizó para evaluar la relación funcional entre las variables de entradas (pH, % *N.A*) y las variables de salida (*DBO*<sub>5</sub>, *DQO*, *Color*) de los tratamientos iniciales y finales. Esta relación se aproxima a un modelo polinómico (Khuri y Mukhopadhyay, 2010)

## Capítulo V: Resultados y Discusiones

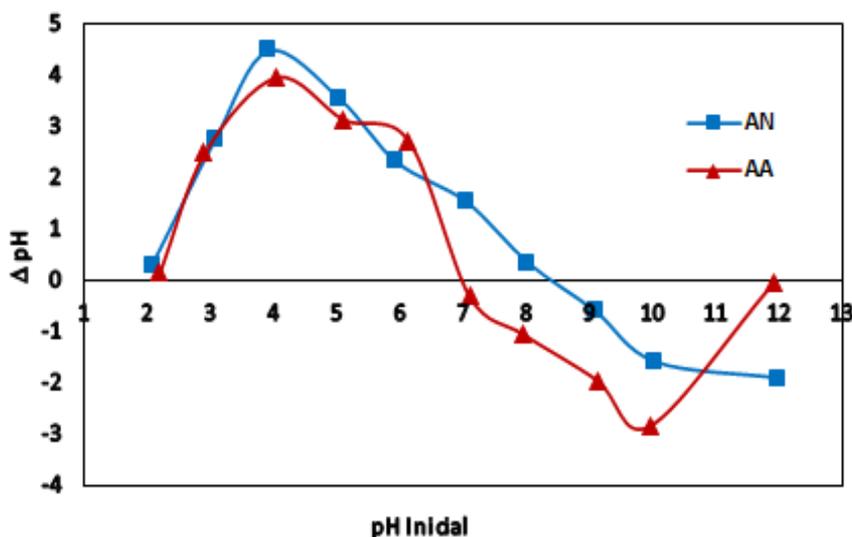
### 5.1. Punto de Carga Cero (PCC)

En la Figura 13, se muestra el comportamiento del pH de la arcilla natural (AN) y la arcilla activada (AA). Se observa que, la AN presenta un PCC alrededor de 8.35 y la AA un valor de 6.96. Estos valores indican que la carga neta total (externa e interna) de las partículas sobre la superficie de la arcilla AA Y AN.

Además, se observa que los pH establecen dos zonas de interacción electrostática, la zona aniónica a  $\text{pH} > \text{PCC}$  y la zona catiónica a  $\text{pH} < \text{PCC}$ .

### Figura 13

*PCC de la arcilla natural (AN) y la arcilla activada (AA)*



Emam (2013) reporta un valor de 7.73 para la bentonita modificada. Mientras que, Kim (2003), reporta un valor de 8 para la arcilla modificada, además, afirma que si el pH de una suspensión está por encima del PCC, la superficie de la suspensión tendrá una carga neta negativa y mostrará predominantemente una capacidad para intercambiar cationes. No obstante, si su pH está por debajo de su PCC, la suspensión retendrá aniones (electrostáticamente).

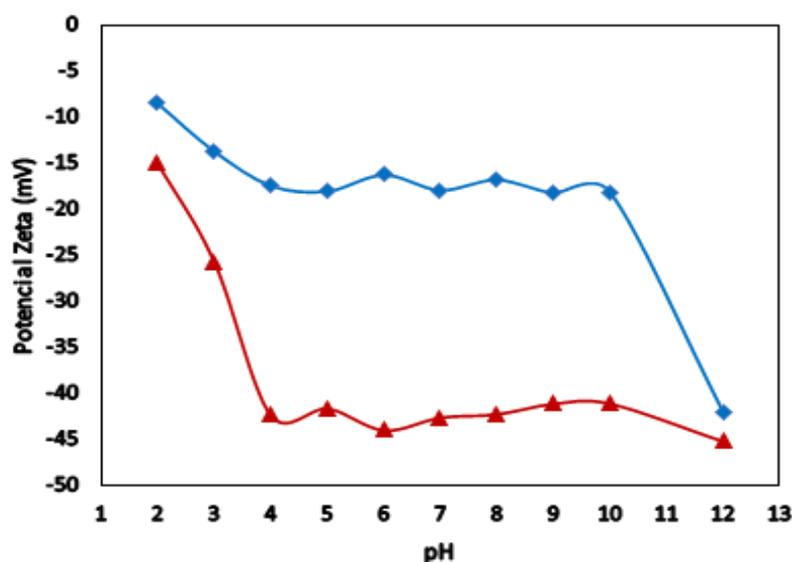
## 5.2. Potencial $\zeta$

La variación del potencial  $\zeta$  en función al pH se muestra en la (Figura 14). La arcilla natural (AN) presenta una potencial  $\zeta$  que varía desde -8.47 a pH=2 hasta -18.03 a pH=5. En el intervalo de [5 a 10] su potencial  $\zeta$  crece y decrece continuamente hasta alcanzar un valor de -18.11. Finalmente, el Potencial  $\zeta$  decrece significativamente de -18.11 a -41.98 en el intervalo de [10,12].

La arcilla activada (AA) varia su potencial  $\zeta$  de -15.033 a -42.35 en el intervalo de pH [2, 12].

**Figura 14**

*Potencial  $\zeta$  de la arcilla natural (AN) y la arcilla activada (AA)*



Se observó que las arcillas naturales presentaron mayores valores de potencial zeta a los reportado en la literatura (Niriella y Carnahan, 2006) y (Vane y Zang, 1997). Sin embargo, Au y Leong (2013), reportaron menores valores para el potencial zeta de la bentonita modificada con una tendencia a -30 mV en un rango de pH [2 – 12].

Choque et al. (2022), expresan que a través del potencial zeta se conoce la estabilidad de la solución de los materiales en polvo, y su valor absoluto entre 21mV a 40 mV corresponde a una estabilidad media y <20 mV permite una fácil aglomeración y sedimentación. Además, la estabilidad de las partículas está asociada al tamaño, la

superficie y su carga superficial en función del pH y las concentraciones de sales disueltas (Niriella y Carnahan, 2006).

### 5.3. Tamaño de Partícula

Se evaluó el tamaño de partícula de AN en un intervalo de pH de 2 a 12, reportando menor tamaño a pH 12. El 98.35% con un tamaño medio de 323.8 nm y el 1.65% con un tamaño de 5464 nm (Tabla 12). Por otro lado, el mayor tamaño se presentó a pH de 2, con tamaño medio de 3694.5 nm.

En el intervalo de pH [2,5] su tamaño medio disminuye de 3694.5 nm a 663.33 nm, sin embargo, en el pH=6 aumenta a 855.23 nm. Asimismo, en el rango de pH [6,12], la AN disminuye su tamaño conforme aumenta el pH.

Por otra parte, el tamaño de partícula de la AA se evaluó en el intervalo de pH [2,12]. Los resultados mostraron variaciones evidenciando desde uno a dos picos (Tabla 13) Es así que la AA evaluada a pH=9 reportó el menor tamaño de partícula con un tamaño medio de 457.97 nm. Por otro lado, el mayor tamaño lo presentó a pH=2, donde su tamaño medio fue de 1705.33 nm.

Se observa que en el intervalo de pH [2,4] su tamaño medio disminuye de 1705.33 nm a 509.07 nm. Sin embargo, a medida que aumenta el pH a 12, el tamaño de la AA fluctúa y llega a medir 465.07 nm.

**Tabla 12**

*Tamaño de partícula de la arcilla natural (AN)*

pH	Pico 1 (nm)				Pico 2 (nm)			
	$\bar{x}$	S	C.V. (%)	%	$\bar{x}$	S	C.V. (%)	%
2	3694.50	592.50	16.04	100	---	---	---	---
3	1499.00	268.36	17.90	100	---	---	---	---
4	755.10	45.86	6.07	98.09	5384.50	83.50	1.55	1.91
5	663.33	39.19	5.91	93.25	138.60	10.00	7.22	6.75
6	855.23	152.25	17.80	100.00	---	---	---	---
7	700.73	52.72	7.52	100.00	---	---	---	---
8	748.97	57.86	7.72	97.99	5409.67	51.81	0.96	2.01
9	745.30	18.80	2.52	100.00	---	---	---	---

<b>10</b>	703.77	21.32	3.03	100.00	---	----	---	---
<b>12</b>	323.80	44.75	13.82	98.35	5464.00	4	0.07	1.65

**Tabla 13**

*Tamaño de partícula de la arcilla activada (AA)*

pH	Pico 1 (nm)				Pico 2 (nm)			
	$\bar{x}$	S	C.V. (%)	%	$\bar{x}$	S	C.V. (%)	%
<b>2</b>	1705.33	511.76	30.01	100	---	---	---	---
<b>3</b>	567.80	55.46	9.77	100	---	---	---	---
<b>4</b>	509.07	25.65	5.04	98.13	5371.00	137.18	2.55	1.87
<b>5</b>	549.07	52.25	9.52	100	---	---	---	---
<b>6</b>	478.20	15.86	3.32	100	---	---	---	---
<b>7</b>	476.60	52.93	11.11	100	---	---	---	---
<b>8</b>	533.87	39.51	7.40	95.77	5115.67	122.82	2.40	4.23
<b>9</b>	457.97	5.44	1.19	100	---	---	---	---
<b>10</b>	525.03	11.40	2.17	97.96	5467	1.000	0.018	1.47
<b>12</b>	465.07	43.01	9.25	100	---	---	---	---

Se observa que para AN y la AA existe una disminución del tamaño de partícula con el incremento del pH del medio acuoso, este comportamiento es explicado por, (Novikova et al., 2016; Tuesta et al., 2005) donde lo asocian al tratamiento de las arcillas con ácido fosfórico, disuelve a los carbonatos, eliminando a los óxidos presentes en la estructura octaédrica de la arcilla, destruyendo parte del mineral, lo cual genera una sílice amorfa y este deja sitios activos que mejoraran los centros de adsorción. Por otra parte, la acción ácida que se presenta durante la etapa de activación produce la deshidroxilación y la eliminación de cationes metálicos de los sitios octaédricos lo que produce nuevos poros para la adsorción.

Choque et al. (2022) reportaron valores similares para la AN y AA a un pH=4, donde reportó medidas de 839.5 nm que constituye el 53% del tamaño medio para la arcilla natural. No obstante, luego de la activación, se reportó medias de 487.5 nm que constituye el 97.4% del tamaño medio de la AA.

#### **5.4. Análisis FTIR**

Los grupos funcionales de la sangre (S), la arcilla natural (AN), arcilla activada (AA) y sus tratamientos, se realizaron por el módulo de transmitancia, a 32 barridos y 8

$cm^{-1}$  de resolución, rango medio del infrarrojo ( $4000-400\ cm^{-1}$ ), utilizando al bromuro de potasio para la preparación del pellet. Donde se observó picos desde los  $3694$  a  $465\ cm^{-1}$ .

La sangre presenta picos  $1651\ cm^{-1}$  y  $1540\ cm^{-1}$  que identifican a compuestos que contienen nitrógeno, las mismas que se deben a las vibraciones  $C = O$  de amidas primarias y carboxilatos y al estiramiento  $C = H$  en amidas secundarias, respectivamente (Figura 17a, 17b). El resto de los picos presentan una intensidad menor y muestran la deformación alifática C-H en la banda  $1440\ cm^{-1}$ ; la deformación O-H, el estiramiento  $C = O$  de los fenoles, el estiramiento antisimétrico  $COO -$  y la deformación alifática  $C - H$  en la banda  $1380\ cm^{-1}$  y la absorbanza de los éteres y ésteres aromáticos, el enlace N-H de las amidas en la banda  $1230\ cm^{-1}$  (Cuetos et al., 2009)

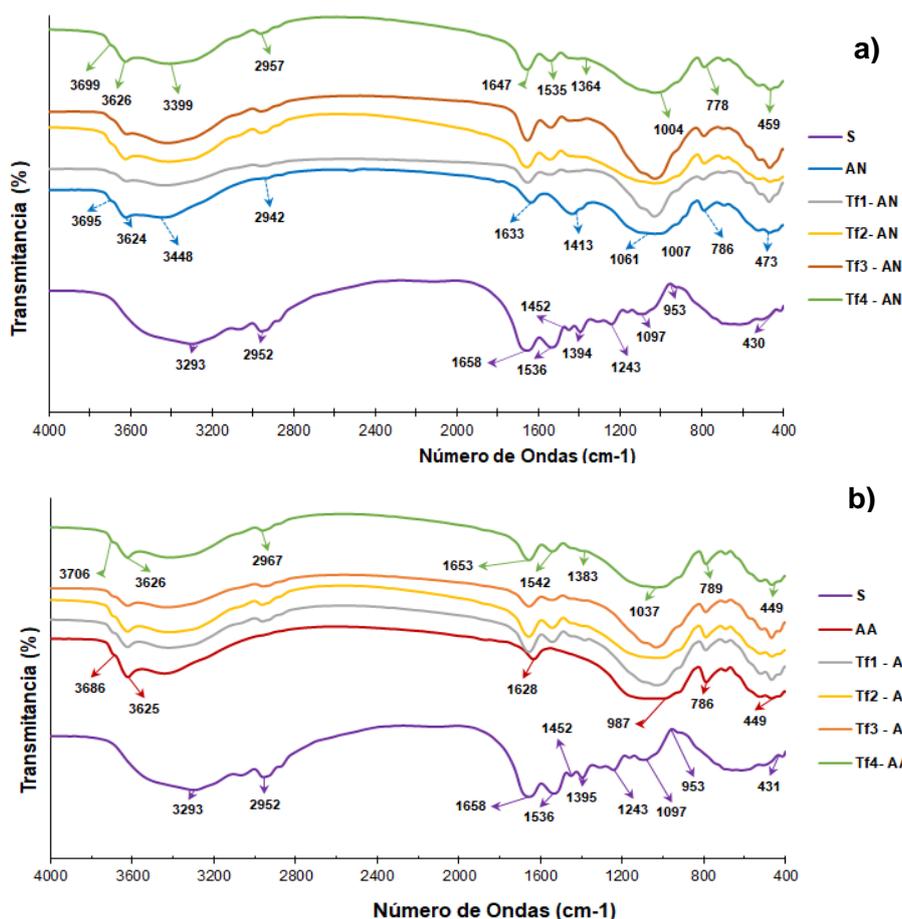
En la arcilla natural se observa un pico cercano  $3695\ cm^{-1}$ , que se atribuye a la presencia de los grupos hidroxilos de la superficie interna Si – OH del tetraedro (Figura 17.a), este mismo pico se observa para la AA (Figura 17.b), el pico alrededor de  $3620\ cm^{-1}$  representa a grupos hidroxilos internos del Al – OH de estructura octaédrica, siendo más intenso para AA, lo que indica que la activación de arcilla disponga de mayor número de OH, los picos de  $3448$  y  $1633\ cm^{-1}$  son producidas por las vibraciones del grupo -OH de las moléculas de agua que fueron adsorbidas presentando mayor intensidad para AA, la banda a  $1061\ cm^{-1}$  se asocia al estiramiento del Si-O que ocurre fuera del plano, presentando una mayor intensidad para AA, no obstante, en la banda  $1007\ cm^{-1}$  ocurre el estiramiento del Si-O en el plano que lo presentan ambas arcillas; en el pico  $915\ cm^{-1}$  corresponde a los grupos AlAlOH, AlFeOH y AlMgOH, que causan el estiramiento de sus constituyentes hidroxilos de la superficie interna y se evidencia con mayor intensidad para AA. En cambio, las bandas  $786$  y  $687\ cm^{-1}$ , muestran la existencia del mineral de cuarzo y una menor disposición en AN. Por otra parte, la banda  $521\ cm^{-1}$  está asociada a la deformación del Al-O-Si y a la vibración del Si-O-

Mg y la banda  $473\text{ cm}^{-1}$ , al Al-O-Si y Si-O-Fe, evidenciando una mayor deformación y vibración en la banda para AN (Choque et al., 2022).

Por otra parte, se observó que AA (Figura 15.b), y AN (Figura 15.a), reportan modificaciones de sus grupos funcionales cuando son sometidos a la adsorción de sangre, así, los tratamientos presentan un pico de alta intensidad alrededor de  $3620\text{ cm}^{-1}$  esto corresponde a la quimisorción de compuestos con grupos -OH procedentes de la arcilla, evidenciando una mayor intensidad para los tratamientos con arcilla activada (Tf- AA); en la banda próxima a  $2951\text{ cm}^{-1}$  muestra la adsorción de los grupos funciones de la sangre y se evidencia en los nuevos picos que aparecen en los tratamientos con arcilla natural y activada; en el pico  $1654\text{ cm}^{-1}$  se produce una variación en la intensidad lo cual es provocado por los compuestos de nitrógeno que corresponden a la sangre y la interacción de los grupos hidroxilos de las moléculas de agua de la arcilla natural y activada; en el pico  $1540\text{ cm}^{-1}$  se produce el proceso de quimisorción de amidas secundarias que corresponden a la sangre, manifestándose nuevos picos para los tratamientos y mayores intensidades los empleados con arcilla natural; en el pico  $1440\text{ cm}^{-1}$  se evidencia un nuevo pico producto de la adsorción del grupo C-H de la sangre, asimismo, presenta una ligera intensidad en Tf – AN y Tf – AA; en los picos  $786$  y  $687\text{ cm}^{-1}$  se mantienen los grupos de cuarzo para los tratamientos Tf – AN y Tf – AA, pero la intensidad disminuye cuando interactúa con la arcilla natural y aumenta con la arcilla activada; y el  $473\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a los compuestos de al Al-O-Si y Si-O-Fe se mantienen en los tratamientos con AN y AA.

**Figura 15**

a) Espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) para la sangre (S), arcilla natural (AN) y los tratamientos de la arcilla natural (Tf – AN); b) Espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) para la sangre (S), arcilla activada (AA) y los tratamientos finales de la arcilla activada (Tf – AA)

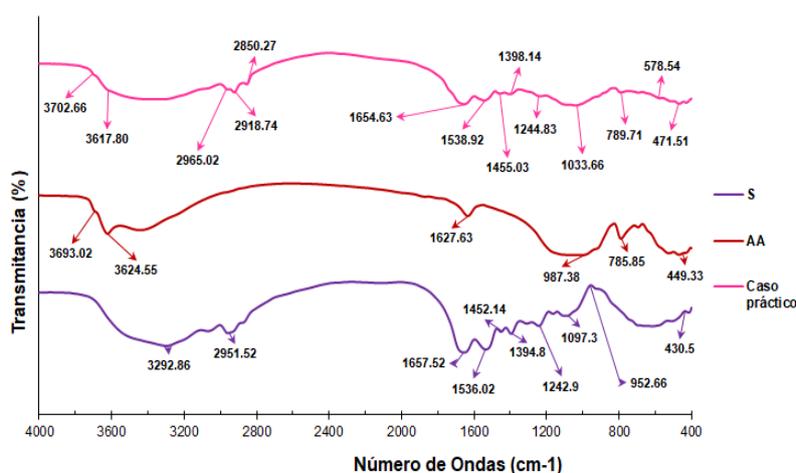


Por otro lado, en la Figura 16 se muestran los espectros infrarrojos de la sangre, la arcilla activada y del caso práctico, reportan modificaciones de sus grupos funcionales cuando son sometidos a la adsorción de sangre residual, así, el caso práctico presenta un pico de ligera intensidad alrededor de  $3620\text{ cm}^{-1}$ , esto corresponde a la quimisorción de compuestos con grupos -OH procedentes de la arcilla; en la banda próxima a  $2951\text{ cm}^{-1}$  muestra la adsorción de los grupos funciones de la sangre y se evidencia en los nuevos picos que aparecen para el tratamiento con sangre residual; en el pico  $1654\text{ cm}^{-1}$  se produce una variación en la intensidad lo cual es provocado por los

compuestos de nitrógeno que corresponden a la sangre y la interacción de los grupos hidroxilos de las moléculas de agua de la arcilla activada; en el pico  $1540\text{cm}^{-1}$  se produce el proceso de quimisorción de amidas secundarias que corresponden a la sangre, manifestándose un nuevo pico para tratamiento de la sangre residual con la arcilla activada; en el pico  $1440\text{ cm}^{-1}$  se evidencia un nuevo pico producto de la adsorción del grupo C-H de la sangre, asimismo, presenta una ligera intensidad ; en los picos  $786$  y  $687\text{ cm}^{-1}$  se mantienen los grupos de cuarzo para el tratamiento y su intensidad es ligera; y el  $473\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a los compuestos de Al-O-Si y Si-O-Fe de la arcilla se mantienen al interactuar con la sangre residual.

### Figura 16

*Espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) para la sangre (S), arcilla activada (AN) y el caso práctico*



### 5.5. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Las microfotografías estructurales de la AN (Figura 17.a), mostraron partículas amorfas, con predominancia las de mayor tamaño y estas se encuentran más dispersas. Además, a través del análisis de color a estas microfotografías (Figura 17.b) se distingue la composición química de la arcilla, la cual se constituye 55.8% O, 29% C, 8.6% Si, 3.3% Al, 1.2 % Na, 1.1% y 0.9% Ca.

En el caso de las microfotografías estructurales de la AA (Figura 18.a), mostraron partículas amorfas, y de menor tamaño luego de la activación y estas se encuentran menos dispersas. Asimismo, se distingue la composición química de AA, la cual se constituye 55.8% O, 29% C, 8.6% Na, 3.3% Si, 1.2 % Fe, 1.1% Al, 0.9% Mg, 0.5% In y 0.1%Ti (Figura 18.b)

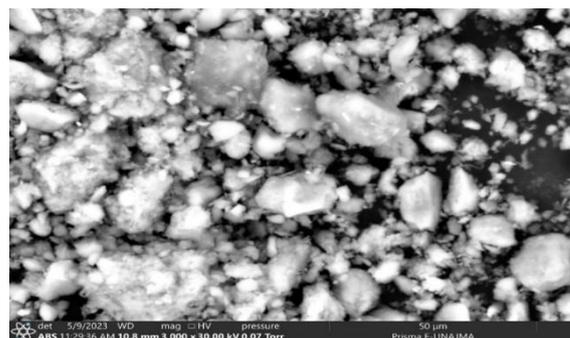
En la AA se evidencian cambios no solo en su morfología, sino su composición, reportando una disminución del Si y Al, mayor concentración del Na luego de la activación y la aparición de elementos como Fe, Mg, In y Ti que lo distinguen de AN.

Similares microfotografías reportaron Choque et al. (2022), donde se vieron la reducción del tamaño de las partículas de arcilla al ser activada, además de presentar una estructura amorfa y más dispersa antes de la activación

Alves et al. (2016) tuvieron microfotografías similares a las de la arcilla natural, las cuales presentaron mayor tamaño y más dispersas entre sí. Por otra parte, Daza y Gallego (2011), presentaron estructuras similares para la arcilla activada, mostrando partículas más aglomeradas entre sí y de menor tamaño.

### Figura 17

a) Imagen SEM para la arcilla natural (AN) a 50  $\mu\text{m}$  ; b) Color SEM para la arcilla natural (AN) a 50  $\mu\text{m}$



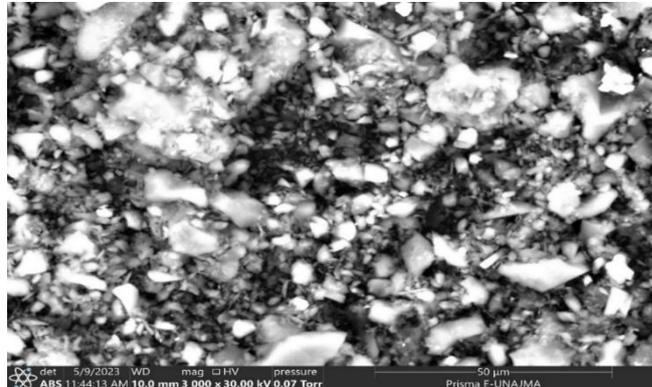
a)



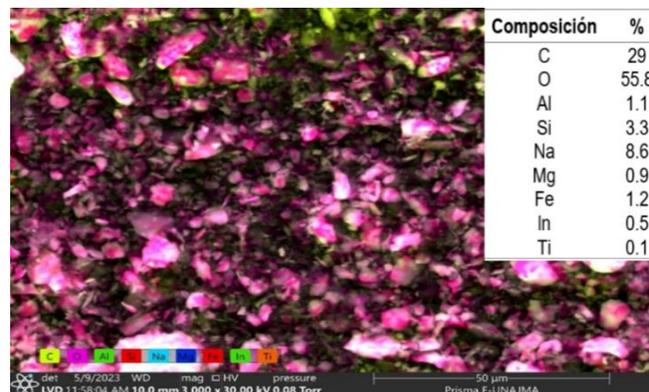
b)

**Figura 18**

a) Imagen SEM para la arcilla activada (AA) 50  $\mu\text{m}$  ; b) Color SEM para la arcilla activada (AA) a 50  $\mu\text{m}$



a)

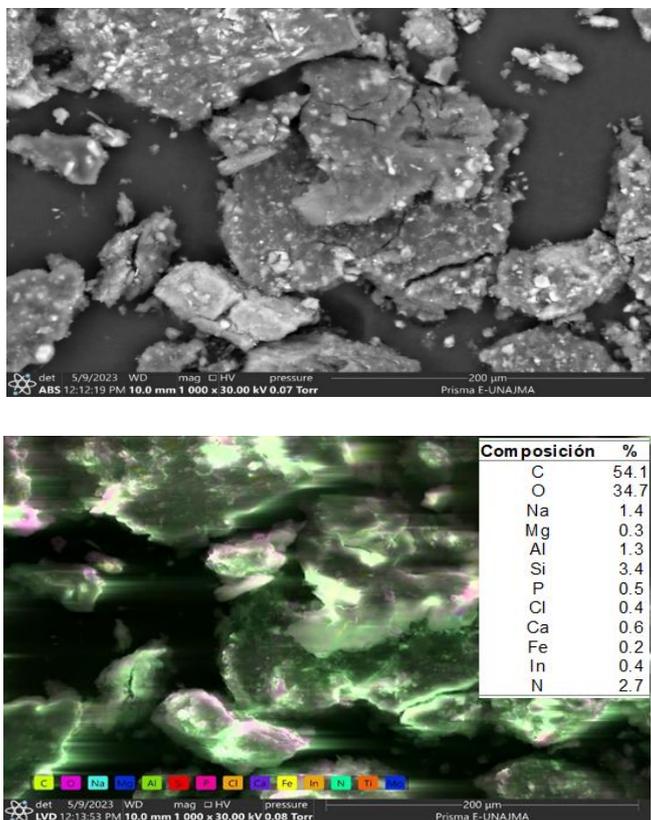


b)

Por otra parte, las microfotografías estructurales de la AA sometida a tratamiento del caso práctico (Figura 19), mostraron la fuerte adhesión de la arcilla a la sangre y las distintas capas de agua residual del camal que contienen pequeñas partículas de AA en su medio. Asimismo, se distingue la composición química de la AA sometida a tratamiento, evidenciando mejor unión entre las moléculas del adsorbente y el adsorbato. Esta se constituye 54.1% C, 34.7% O, 3.4% Si, 2.7% N, 1.4 % Na, 1.3% Al, 0.6% Ca, 0.5% P, 0.4% Cl e In, 0.3% ,Mg y 0.2% Fe.

**Figura 19**

a) Imagen SEM para el caso práctico a 200  $\mu\text{m}$  ; b) Color SEM para el caso práctico a 200  $\mu\text{m}$ .



## 5.6. Evaluación del $pH$

### 5.6.1. Evaluación del $pH$ del Agua Simulada Tratada con AN

Los resultados del  $pH$  del agua simulada tratada con AN, se muestran en la Tabla 14. Se reportaron datos que oscilan entre 6.496 y 6.915 de la solución final. Se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p\text{-value} < 0.05$ ), asimismo, se aprecia que los tratamientos que inicialmente presentaban un valor de  $pH=6$  tienden a aumentar entre 6.496 y 6.771, dando una solución ligeramente ácida. Por otra parte, los tratamientos que presentaban un  $pH$  alcalino disminuyeron a un valor de 6.795 y 6.915, el cual tiende a un  $pH$  neutro.

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es menor al 1% lo que significa que hay menor dispersión.

Tabla 14

Potencial de hidrogeniones del agua simulada tratada con AN.

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	6.771	$\pm$	0.00208	0.03	c
$Tf - i_2$	6	100	6.496	$\pm$	0.00252	0.04	d
$Tf - i_3$	8	50	6.915	$\pm$	0.00153	0.02	a
$Tf - i_4$	8	100	6.795	$\pm$	0.00361	0.05	b

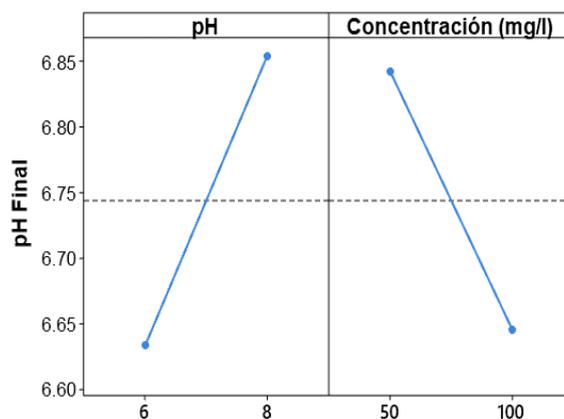
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la diferencia del tratamiento final y el tratamiento inicial.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el potencial de hidrógeno del agua simulada tratada con AN, se muestra en la Figura 20. Se observa que el aumento del pH presenta un efecto significativo disminuyendo ligeramente su acidez, además, el incremento de la concentración permite aumentar su acidez.

Figura 20

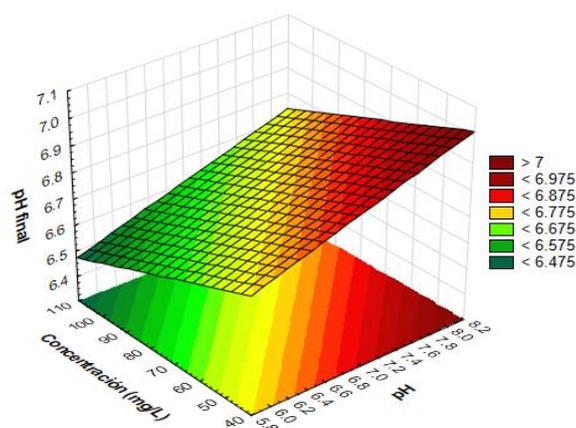
Diagrama de efectos del pH y la concentración (mg/l) de la AN sobre el potencial de hidrogeno final



La interacción entre el pH y la concentración de AN (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 21). Se observa que el pH final disminuye a menores valores de pH y mayores valores de concentración de AN (mg/L).

Figura 21

Superficie de respuesta para el pH final del agua simulada tratada con AN



### 5.6.2. Evaluación del pH del Agua Simulada Tratada con AA

Los resultados del pH del agua simulada tratada con AA, se muestran en la Tabla 15, se reportaron datos que oscilan entre 6.236 y 6.772 de la solución final.

Se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos (p-value <0.05), asimismo, el tratamiento  $Tf - i_1$  y  $Tf - i_4$  presentan valores estadísticamente similares. Los tratamientos que inicialmente presentaban un valor de pH=6 tienden a aumentar entre 6.236 y 6.758, dando una solución ligeramente acida. Por otra parte, los tratamientos que presentaban un pH alcalino disminuyeron a un valor de 6.759 y 6.772, el cual tiende a un pH neutro.

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es menor al 1% lo que significa que hay menor dispersión.

Tabla 15

Potencial de hidrogeniones del agua simulada tratada con AA

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	6.758	$\pm$	0.002	0.03	b
$Tf - i_2$	6	100	6.236	$\pm$	0.002	0.03	c
$Tf - i_3$	8	50	6.772	$\pm$	0.00252	0.04	a
$Tf - i_4$	8	100	6.759	$\pm$	0.001	0.01	b

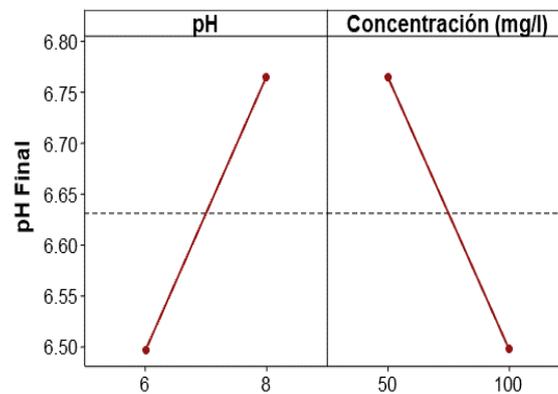
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V., es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la diferencia del tratamiento final y el tratamiento inicial. \*Letras

diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el pH del agua simulada tratada con AA, se muestra en la Figura 22. Se observa que el aumento del pH presenta un efecto significativo disminuyendo ligeramente su acidez, además, el incremento de la concentración permite aumentar su acidez.

### Figura 22

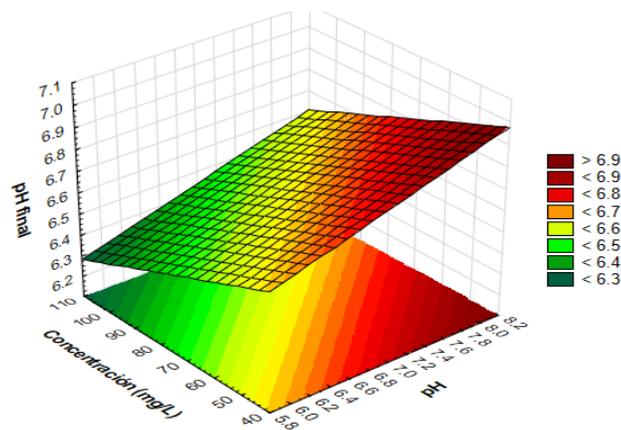
*Diagrama de efectos del pH y la concentración (mg/l) de la AA sobre el potencial de hidrogeno final*



La interacción entre el pH y la concentración de AA (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 23). Se observa que el pH final disminuye a menores valores de pH y mayores valores de concentración de AA (mg/L).

### Figura 23

*Superficie de respuesta para el pH final del agua simulada tratada con AA*



## 5.7. Evaluación del Porcentaje de Remoción

### 5.7.1. Evaluación del Porcentaje de Remoción de Sangre del Agua Simulada

#### Tratada con AN

Los resultados del porcentaje de remoción de concentración de sangre del agua simulada tratada con AN se muestran en la Tabla 16, se evidencia que existe diferencia significativa entre la variación del tratamiento final e inicial (p-value <0.05), asimismo el mayor porcentaje de remoción de concentración, lo presenta a (pH=6, 100 mg/l) dando un resultado de 80.525 %, mientras que la menor remoción se reporta a un pH=6 y una concentración de 50 mg/l. Además, se aprecia que  $Tf - i_2$  y  $Tf - i_4$  presentan valores estadísticamente similares del porcentaje de remoción.

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es menor al 2% lo que significa que hay menor dispersión.

**Tabla 16**

*Remoción de concentración de sangre (%) del agua simulada tratada con AN*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	<i>S</i>	C.V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	73.967	$\pm$	0.918	1.24	c
$Tf - i_2$	6	100	80.525	$\pm$	0.0765	0.09	a
$Tf - i_3$	8	50	76.662	$\pm$	0.734	0.96	b
$Tf - i_4$	8	100	80.373	$\pm$	0.59	0.73	a

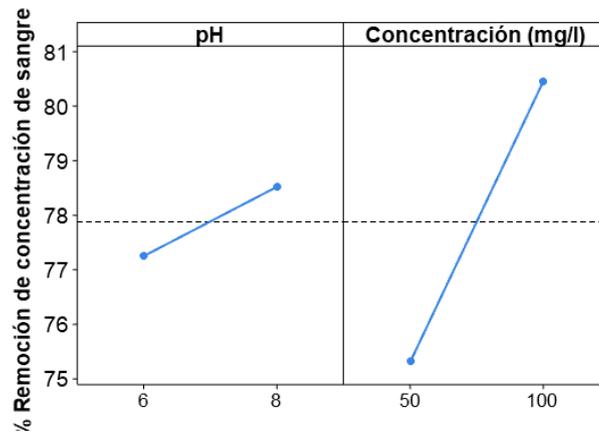
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; *S*, es la desviación estándar; C.V., es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la diferencia del tratamiento final y el tratamiento inicial.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) de AN sobre el porcentaje de remoción de concentración de sangre del agua simulada tratada, se muestra en la Figura 24, se observa que el pH presenta un efecto significativo aumentando ligeramente el porcentaje remoción de la concentración de la sangre, mientras que el incremento de la concentración permite aumentar su remoción.

**Figura 24**

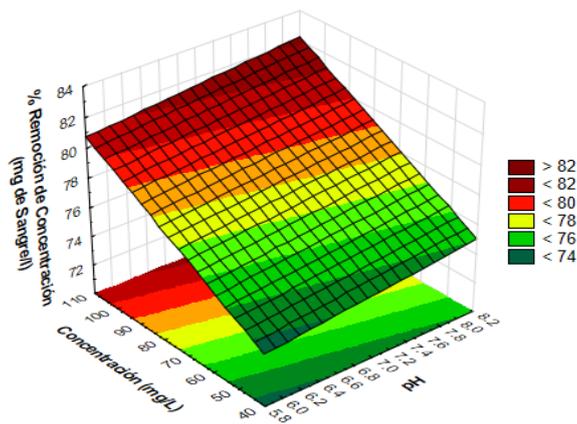
Diagrama de efectos del pH y la concentración (mg/l) de la AN sobre la remoción de concentración de sangre



La interacción entre el pH y la concentración de AN (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 25). Se observa que el porcentaje de remoción de concentración de sangre, disminuye a mayores valores de pH y menores valores de concentración de AN (mg/L).

**Figura 25**

Superficie de respuesta para la remoción de sangre del agua simulada tratada con AN



### 5.7.2. Evaluación del Porcentaje de Remoción de Sangre del Agua Simulada

#### Tratada con AA

Los resultados del porcentaje de remoción de concentración de sangre del agua simulada tratada con AA se muestran en la Tabla 17, se evidencia que existe diferencia significativa entre la variación del tratamiento final e inicial ( $p$ -value  $< 0.05$ ), asimismo el mayor de remoción de concentración lo presenta a ( $pH=6$ , 50 mg/l) dando un resultado de 74.659 %, mientras que la menor remoción se reporta a un  $pH=8$  y una concentración de 50 mg/l. Además, se aprecia que  $Tf - i_1$  y  $Tf - i_4$  presentan valores estadísticamente similares del porcentaje de remoción. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es menor al 2% lo que significa que hay menor dispersión.

**Tabla 17**

Remoción de concentración de sangre (%) del agua simulada tratada con AA

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	$S$	C.V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	74.659	$\pm$	0.119	0.16	a
$Tf - i_2$	6	100	68.944	$\pm$	0	0	b
$Tf - i_3$	8	50	63.008	$\pm$	0.704	1.12	c
$Tf - i_4$	8	100	74.457	$\pm$	0.423	0.57	a

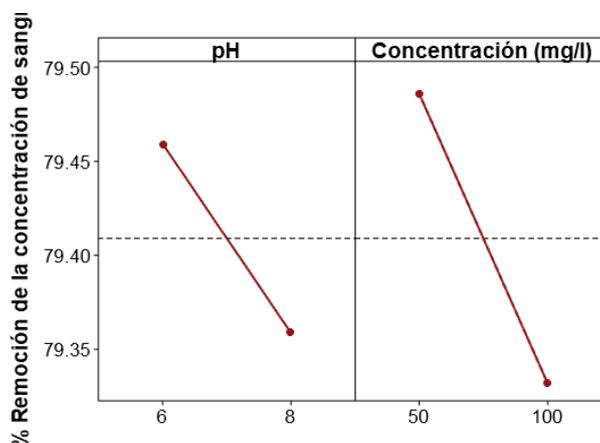
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético;  $S$ , es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la diferencia del tratamiento final y el tratamiento inicial.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) de AA sobre el porcentaje de remoción de concentración de sangre del agua simulada, se muestra en la (Figura 26). Se observa que el pH presenta un efecto significativo disminuyendo notablemente el porcentaje remoción de la sangre, además, el incremento de la concentración permite disminuir significativamente el porcentaje de remoción de la sangre.

**Figura 26**

Diagrama de efectos del pH y la concentración (mg/l) de la AA sobre la remoción de concentración de sangre



## 5.8. Evaluación del Color del Agua

### 5.8.1. Índice de Color del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural

Los resultados del IC del agua simulada tratada con AN, se muestran en la Tabla 18, se reportaron datos que oscilan entre 33.742 y 43.074 del índice de color que corresponde al tratamiento inicial.

Luego de iniciar el proceso de adsorción con la AN, se obtuvieron datos del índice de color del tratamiento final, se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p$ -value  $< 0.05$ ), asimismo, se aprecia la influencia del pH y concentración en el IC, puesto que, los mayores resultados los presenta a  $Tf_3$  (pH=8, 50 mg/l) y  $Tf_4$  (pH=8, 100 mg/l) reportando valores de 57.772 y 48.741 respectivamente. Mientras que los menores valores del índice de color los presenta a  $Tf_1$  (pH=6, 50 mg/l) y  $Tf_2$  (pH=6, 100 mg/l). Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es menor al 5% lo que significa que hay menor dispersión.

Tabla 18

IC del agua simulada tratada con AN

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	$S$	C.V. (%)	*
$Ti_1$	6	50	39.588	$\pm$	0.735	1.86	
$Ti_2$	6	100	33.742	$\pm$	0.411	1.22	
$Ti_3$	8	50	43.074	$\pm$	1.235	2.87	
$Ti_4$	8	100	38.973	$\pm$	0.492	1.26	
$Tf_1$	6	50	46.306	$\pm$	1.427	3.08	b, c
$Tf_2$	6	100	46.035	$\pm$	0.989	2.15	c
$Tf_3$	8	50	57.772	$\pm$	0.661	1.14	a
$Tf_4$	8	100	48.741	$\pm$	0.788	1.62	b

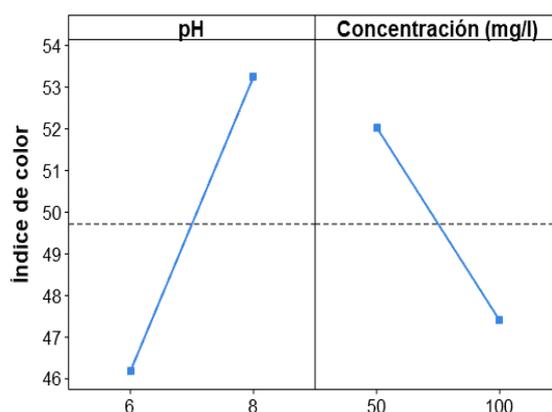
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético;  $S$ , es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad,  $Ti$  es el tratamiento inicial;  $Tf$  es el tratamiento final

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el índice de color del agua simulada tratada con arcilla natural se muestra en la Figura 27, se observa que el pH presenta un efecto significativo incrementando el IC, mientras que el incremento de la concentración permite disminuir el IC.

Figura 27

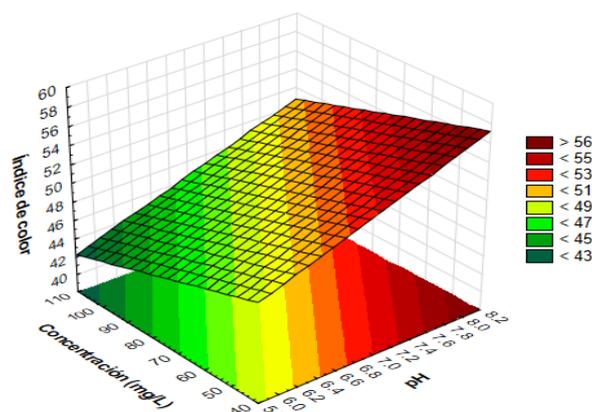
Diagrama de efectos principales para el índice de color del agua simulada tratada con arcilla natural



La interacción entre el pH y la concentración de arcilla natural(mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 28). Se observa que el IC aumenta a mayores valores de pH y menores valores de concentración de AN (mg/L)

**Figura 28**

*Superficie de respuesta para el IC del agua simulada tratada con AN*



### **5.8.2. Índice de Color del Agua Simulada con Arcilla Activada**

Los resultados del IC del agua simulada tratada con AA se muestran en la Tabla 19, se reportaron datos que oscilan entre 36.664 y 46.183 del IC que corresponde al tratamiento inicial.

Luego de someter a adsorción con la AA, se obtuvieron valores del índice de color del tratamiento final, en el que se aprecia que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p$ -value  $< 0.05$ ), además, se refleja la influencia del pH y la concentración (mg/l) en los resultados del IC, dado que sus datos reportan altos valores de IC. Es así, que a (pH=8, 50 mg/l) y (pH=8, 100 mg/l) sus resultados son de 51.133 y 48.542 respectivamente. En cambio, a (pH=6, 50 mg/l) y (pH=6, 100 mg/l) se obtuvieron menores valores del IC.

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es menor al 5% lo que significa que hay menor dispersión entre sus datos.

Tabla 19

IC del agua simulada tratada con AA

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)	*
$Ti_1$	6	50	37.108	$\pm$	1.429	3.85	
$Ti_2$	6	100	36.664	$\pm$	0.677	1.85	
$Ti_3$	8	50	44.248	$\pm$	0.48	1.09	
$Ti_4$	8	100	46.183	$\pm$	0.815	1.76	
$Tf_1$	6	50	47.97	$\pm$	1.96	4.1	a
$Tf_2$	6	100	43.176	$\pm$	1.023	2.37	b
$Tf_3$	8	50	51.133	$\pm$	0.857	1.68	a
$Tf_4$	8	100	48.542	$\pm$	0.76	1.57	a

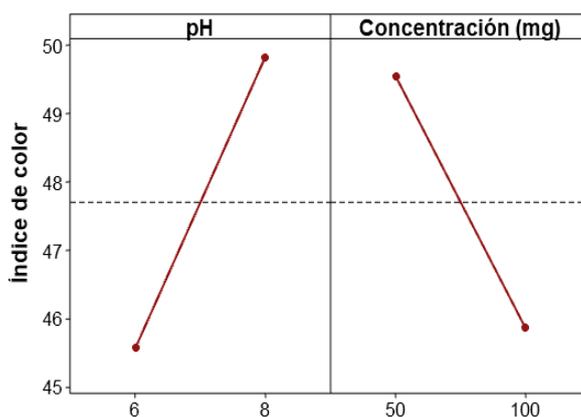
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad,  $Ti$  es el tratamiento inicial;  $Tf$  es el tratamiento final

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el IC del agua simulada tratada con AA se muestra en la siguiente (Figura 29). Se observa que el pH presenta un efecto significativo incrementando el IC, mientras que el incremento de la concentración permite disminuir el IC.

Figura 29

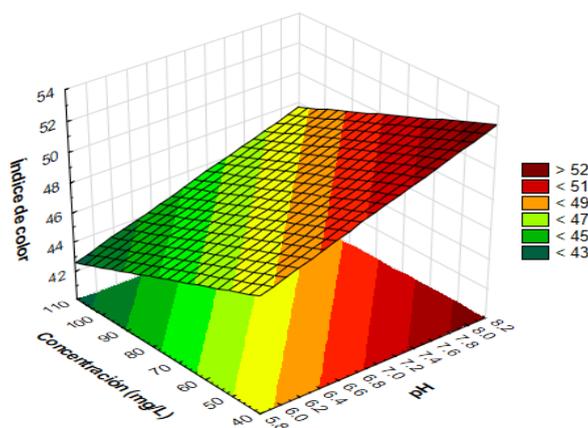
Diagrama de efectos principales para el IC del agua simulada tratada con AA



La interacción entre el pH y la concentración de AA (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 30). Se observa que el IC aumenta a mayores valores de pH y menores valores de concentración de AA (mg/L)

**Figura 30**

*Superficie de respuesta para el IC del agua simulada tratada con AA*



Vignoni et al. (2006) sostienen que si el Índice de Color es positivo y su rango se encuentra entre [20,40], estas se asocian a colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

En el presente estudio, el IC evaluado para el agua simulada con sangre tratada con arcilla natural, evidencia  $IC > 56$  que corresponde a tonalidades de un rojo profundo. Sin embargo, el agua destilada con sangre tratada con AA, evidencia  $IC > 52$  que se asocia al rojo profundo, entonces entre los tratamientos con ambas arcillas, la AA presentó un menor IC y eso se influencia por el pH y la concentración.

### **5.8.3. Diferencia de Color del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural**

Los resultados de la  $\Delta E$  del agua simulada tratada con AN se muestran en la (Tabla 20), se evidencia que existe diferencia significativa entre la variación del tratamiento final e inicial ( $p\text{-value} < 0.05$ ), asimismo, la mayor diferencia de color lo presenta a ( $pH=6$ ,  $100\text{ mg/l}$ ) dando un resultado de  $11.267$ , mientras que el menor valor reportado es a un  $pH=6$  y una concentración de  $50\text{mg/l}$ . Además, se aprecia que  $Tf - i_2$ ,  $Tf - i_3$  y  $Tf - i_4$  presentan valores estadísticamente similares de  $\Delta E$ .

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es alto para un pH=6 y concentración de 50 mg/l de AA, mientras que en los demás tratamientos se tiene una variación menor al 10% de sus datos, lo que está influenciado por el pH y concentración.

**Tabla 20**

*ΔE del agua simulada tratada con AN*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	6.21	$\pm$	1.94	31.21	b
$Tf - i_2$	6	100	11.267	$\pm$	0.294	2.61	a
$Tf - i_3$	8	50	10.758	$\pm$	1.002	9.31	a
$Tf - i_4$	8	100	9.281	$\pm$	0.732	7.89	a

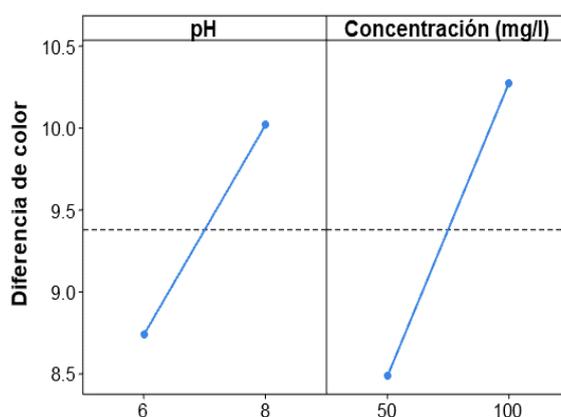
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la diferencia del tratamiento final y el tratamiento inicial.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otra parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre la  $\Delta E$  del agua simulada tratada con AN se muestra en la siguiente (Figura 31). Se observa que el pH y la concentración (mg/l) presentan un efecto significativo incrementando el IC.

**Figura 31**

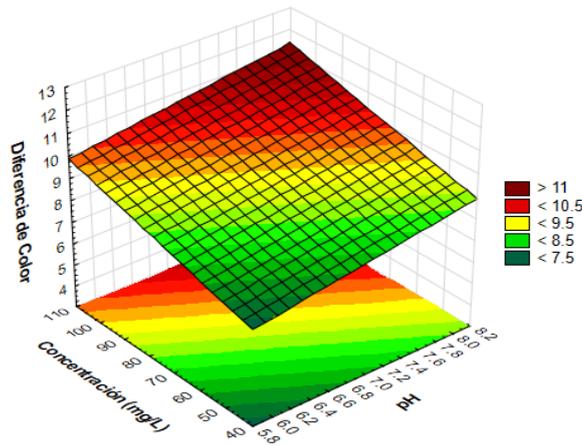
*Efectos principales para la ΔE del agua simulada tratada con AN*



La interacción entre el pH y la concentración de AN (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 32). Se aprecia que la  $\Delta E$  aumenta a mayores valores de concentración de AN mg/L y a mayores valores de pH

**Figura 32**

*Superficie de respuesta para la  $\Delta E$  del agua simulada tratada con AN*



#### **5.8.4. Diferencia de Color del Agua Simulada Tratada con Arcilla Activada**

Los resultados de la  $\Delta E$  del agua simulada tratada AA se muestran en la Tabla 21, se evidencia que existe diferencia significativa entre la variación del tratamiento final e inicial ( $p$ -value  $< 0.05$ ), asimismo, la mayor  $\Delta E$  lo presenta a ( $\text{pH}=6$ , 50 mg/l) dando un resultado de 9.541, mientras que el menor valor reportado es a un  $\text{pH}=8$  y una concentración de 100 mg/l. Además, se aprecia que  $Tf - i_2$ ,  $Tf - i_3$  y  $Tf - i_4$  presentan valores estadísticamente similares de  $\Delta E$ .

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es alto para un  $\text{pH}=8$  y concentración de 50 mg/l de AA, mientras que para un  $\text{pH}=6$  y concentración de 50 mg/l se tiene un valor de 13.4%.

Tabla 21

$\Delta E$  del agua simulada tratada AA

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	$S$	C.V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	9.541	$\pm$	1.279	13.4	a
$Tf - i_2$	6	100	5.25	$\pm$	0.908	17.29	b
$Tf - i_3$	8	50	5.98	$\pm$	2.02	33.87	b
$Tf - i_4$	8	100	2.582	$\pm$	0.585	22.65	b

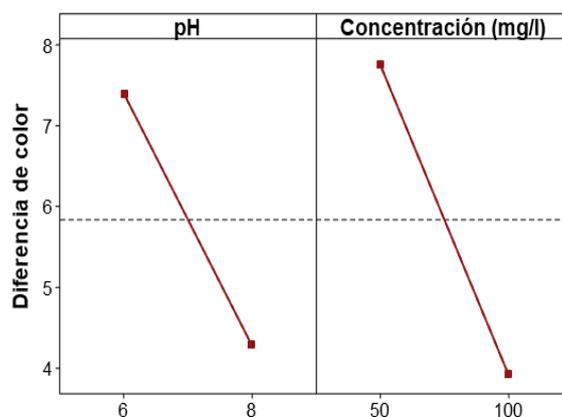
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético;  $S$ , es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la diferencia del tratamiento final y el tratamiento inicial.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otra parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre la  $\Delta E$  del agua simulada tratada con AA se muestra en la Figura 33, se observa que el pH y la concentración (mg/l) presentan un efecto significativo disminuyendo la  $\Delta E$ .

Figura 33

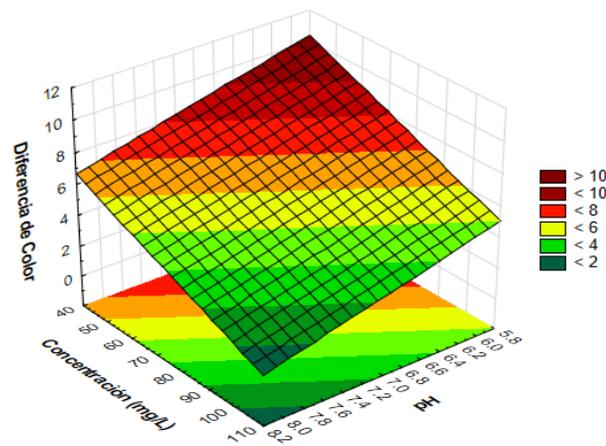
Efectos principales para la  $\Delta E$  del agua simulada tratada con AA



La interacción entre el pH y la concentración de AA (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 34). Se aprecia que la  $\Delta E$  aumenta a menores valores de concentración de AA (mg/L) y a menores valores de pH

**Figura 34**

*Superficie de respuesta para la  $\Delta E$  del agua simulada tratada con AA*



Vignoni et al. (2006) describen al  $\Delta E$  como el parámetro utilizado para el estudio de la degradación de color. Es por ello, en esta investigación se evaluaron la degradación entre los tratamientos iniciales y finales que correspondieron al agua destilada con sangre y los dos tipos de arcillas. El resultado muestra una mayor  $\Delta E$  para el tratamiento con la AN.

### 5.8.5. Remoción de Color en Unidades Platino – Cobalto (UPC) del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural

Los resultados de remoción de color en unidades Platino – Cobalto (UPC) del agua simulada tratada con AN se muestran en la Tabla 22, se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p$ -value  $< 0.05$ ). Además, se observa que a un  $pH=6$  se obtiene un mayor porcentaje de remoción de color con un valor promedio de 40.542% y 38.931%, sin embargo, a un  $pH=8$ , su valor de remoción de color oscila entre 16.367% y 19.217%.

Por otra parte, el coeficiente de variabilidad es menor al 3% lo que significa una menor dispersión en sus datos.

**Tabla 22**

*Remoción de color del agua simulada tratada con arcilla natural*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	$S$	C.V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	40.542	$\pm$	0.861	2.12	a
$Tf - i_2$	6	100	38.931	$\pm$	0.138	0.36	b
$Tf - i_3$	8	50	16.367	$\pm$	0.305	1.86	c
$Tf - i_4$	8	100	19.217	$\pm$	0.183	0.95	d

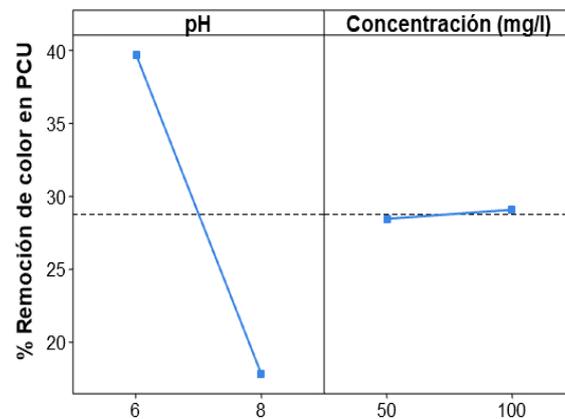
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético;  $S$ , es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la variación del tratamiento final y el tratamiento inicial.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro lado, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el porcentaje de remoción de color del agua simulada tratada con AN se muestra en la Figura 35, se observó que el pH presenta un efecto significativo disminuyendo el porcentaje de remoción de color. Asimismo, el aumento de la concentración presenta un efecto significativo aumentando ligeramente el porcentaje de remoción.

**Figura 35**

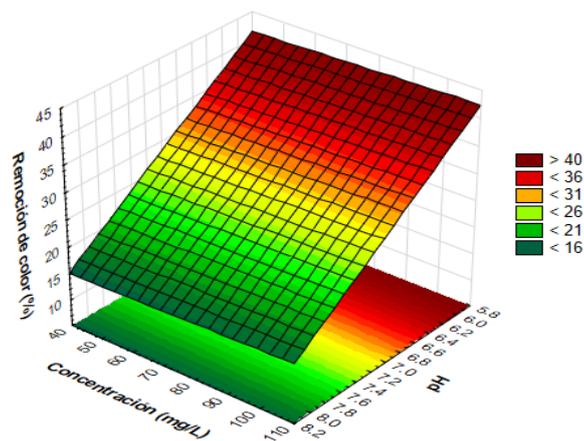
*Efectos principales para la remoción de color del agua simulada tratada con AN*



La interacción entre el pH y la concentración de AN (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 36). Se aprecia que el porcentaje de remoción de color (%) aumenta a mayores valores de pH y no es influenciado por la concentración de AN

**Figura 36**

*Superficie de respuesta para la remoción de color del agua simulada tratada con AN*



### 5.8.6. Remoción de Color en Unidades Platino – Cobalto (UPC) del Agua Simulada

#### Tratada con AA

Los resultados de remoción de color en unidades Platino – Cobalto (UPC) del agua simulada tratada con AA se muestran en la Tabla 23, se evidencia que existe diferencia significativa ( $p$ -value  $< 0.05$ ), además, se observa que a un  $\text{pH}=6$  se obtiene un mayor porcentaje de remoción de color con un valor promedio de 38.716% y 31.458%, sin embargo, a un  $\text{pH}=8$ , su valor de remoción de color oscila entre 23.395% y 25.878%.

Por otra parte, el coeficiente de variabilidad es menor al 4% lo que significa una menor dispersión en sus datos.

**Tabla 23**

*Remoción de color del agua simulada tratada con AA*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	31.458	$\pm$	0.474	1.51	b
$Tf - i_2$	6	100	38.716	$\pm$	0.0794	0.21	a
$Tf - i_3$	8	50	25.878	$\pm$	0.324	1.25	c
$Tf - i_4$	8	100	23.395	$\pm$	0.79	3.38	d

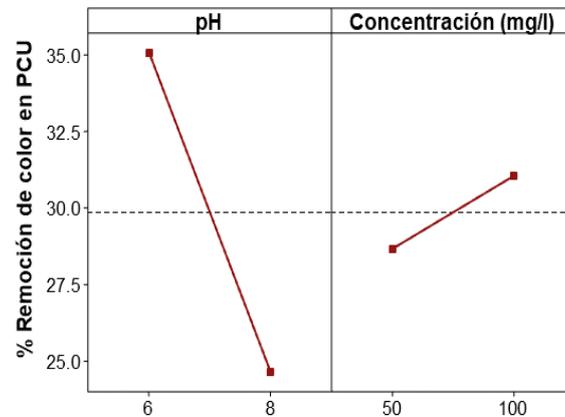
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la variación del tratamiento final y el tratamiento inicial.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro lado, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el porcentaje de remoción de color del agua simulada tratada con AA se muestra en la Figura 37, se observó que el pH presenta un efecto significativo disminuyendo el porcentaje de remoción de color. Asimismo, el aumento de la concentración presenta un efecto significativo aumentando el porcentaje de remoción de color

**Figura 37**

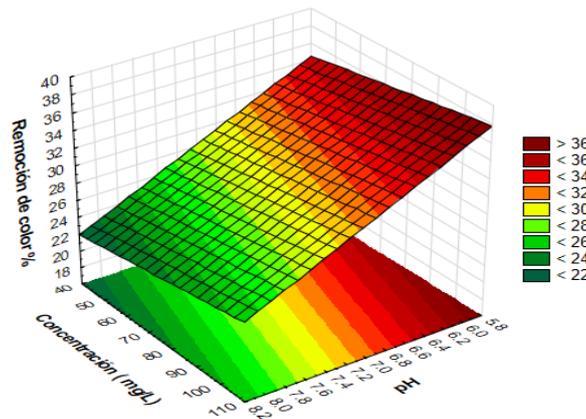
*Efectos principales para la remoción de color del agua simulada tratada con AA*



La interacción entre el pH y la concentración de AA (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 38). Se aprecia que el porcentaje de remoción de color (%) aumenta a menores valores de pH y mayores valores de concentración de AA (mg/l)

**Figura 38**

*Superficie de respuesta para la remoción de color del agua simulada tratada con AA*



De acuerdo con Iyim y Güçlü (2009) se reportaron valores de remoción de colorantes orgánicos básicos de 45 mg/g y 25 mg/g evaluado a un pH ácido y utilizando la arcilla natural como adsorbente. Asimismo, Çakmak et al.(2017), mostraron resultados de la remoción del astrazon amarillo dorado 7GL de aguas residuales coloreadas utilizando arcillas activadas, en donde se reportaron un aumento de la

eliminación del color de 36.5% a 97.2% al aumentar la dosis del adsorbente y esto debido al aumento del área superficial de la arcilla que provocó el aumento de los sitios activos para la adsorción. Además, el papel del pH y los resultados de remoción del colorante aumentan de 269 a 319 mg/g conforme se aumentó el pH de 2 a 6. El reporte evidenció la influencia del pH y la concentración del adsorbente en la remoción del colorante catiónico.

Por otra parte, los resultados que obtuvieron Martínez (1999), no mostraron porcentaje de la remoción de color de un efluente textil utilizando arcilla bentonítica decolorante evaluado a un pH= 3.6 y a dosis de arcilla (ppm). Asimismo, mostraron una aparente remoción de color a un pH=7.6, sin embargo, no presenta un comportamiento coherente al aumentar la dosis de arcilla. Es así que la arcilla no presentó valores significativos de remoción de color, ya que, la molécula de color no tiene una carga predominante positiva por lo que no existe el intercambio catiónico y la composición de la arcilla podría interferir en la remoción.

## **5.9. Evaluación de la Materia Orgánica**

### **5.9.1. Remoción de la Demanda Química de Oxígeno del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural**

Los resultados de remoción de la DQO del agua simulada tratada con AN se muestran en la Tabla 24, se evidencia que existe diferencia significativa ( $p$ -value <0.05), además, se observa que el valor de remoción de la DQO oscila entre 13.031% y 72.177%. Es así que el mayor valor de remoción lo presenta a  $Tf - i_4$  y el menor valor a  $Tf - i_3$ .

Por otra parte, el coeficiente de variabilidad es menor al 6% lo que significa una menor dispersión en sus datos.

**Tabla 24**

*Remoción de la DQO del agua simulada tratada con AN*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	<i>S</i>	C. V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	18.703	$\pm$	0.369	1.98	c
$Tf - i_2$	6	100	48.882	$\pm$	0.462	0.94	b
$Tf - i_3$	8	50	13.031	$\pm$	0.653	5.01	d
$Tf - i_4$	8	100	72.177	$\pm$	0.563	0.78	a

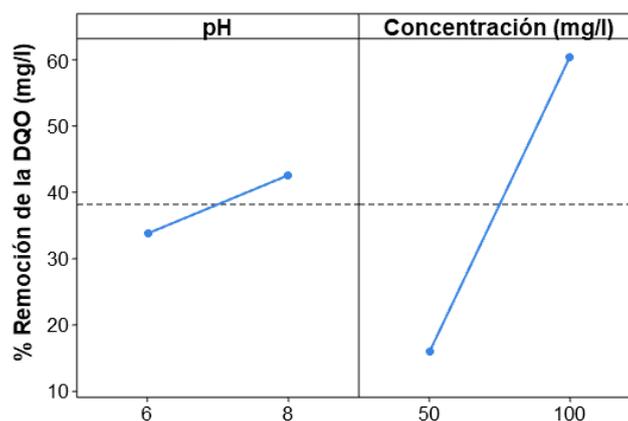
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; *S*, es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la variación del tratamiento final y el tratamiento inicial.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro lado, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el porcentaje de remoción de la DQO del agua simulada tratada con AN se muestra en la Figura 39, se observó que el pH presenta un efecto significativo aumentando ligeramente el porcentaje de remoción de la DQO. Asimismo, el aumento de la concentración presenta un efecto significativo aumentando el porcentaje de remoción de la DQO.

**Figura 39**

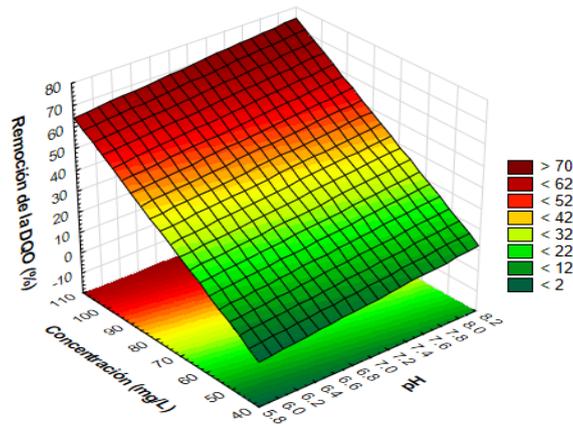
*Efectos principales para la remoción de la DQO del agua simulada tratada con AN*



La interacción entre el pH y la concentración de AN (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 40). Se observa que el porcentaje de remoción de la DQO del agua simulada (%) aumenta a mayores valores de concentración de AN (mg/l) y a mayores valores de pH.

**Figura 40**

Superficie de respuesta para la DQO del agua simulada tratada con AN



### 5.9.2. Remoción de la Demanda Química de Oxígeno del Agua Simulada Tratada con Arcilla Activada

Los resultados de remoción de la DQO del agua simulada tratada con AA se muestran en la Tabla 25, se evidencia que existe diferencia significativa ( $p$ -value  $< 0.05$ ), además, se observa que el valor de remoción de la DQO oscila entre 21.528% y 82.077%. Es así que el mayor valor de remoción lo presenta a (pH=8, 50 mg/l) y el menor valor a (pH=6, 50 mg/l)

Por otra parte, el coeficiente de variabilidad es menor al 4% lo que significa una menor dispersión en sus datos.

**Tabla 25**

Remoción de la DQO del agua simulada tratada con AA

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	$S$	C.V. (%)	*
$Tf - i_1$	6	50	21.528	$\pm$	0.753	3.5	d
$Tf - i_2$	6	100	80.385	$\pm$	0.114	0.14	b
$Tf - i_3$	8	50	82.077	$\pm$	0.25	0.3	a
$Tf - i_4$	8	100	57.84	$\pm$	0.915	1.58	c

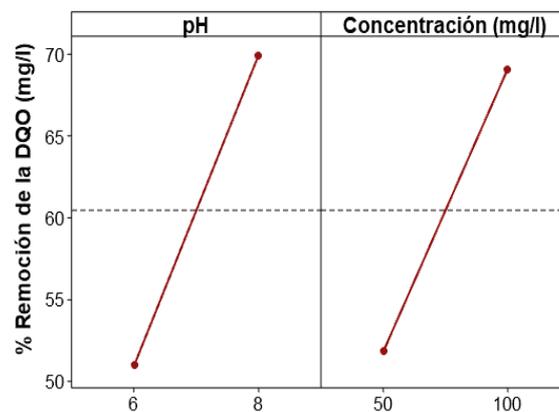
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético;  $S$ , es la desviación estándar; C.V., es el coeficiente de variabilidad;  $Tf - i$  es la variación del tratamiento final y el tratamiento inicial.

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro lado, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el porcentaje de remoción de la DQO del agua simulada tratada con AA se muestra en la Figura 41, se observó que el pH presenta un efecto significativo aumentando notablemente el porcentaje de remoción de la DQO. Asimismo, el aumento de la concentración presenta un efecto significativo aumentando el porcentaje de remoción de la DQO.

**Figura 41**

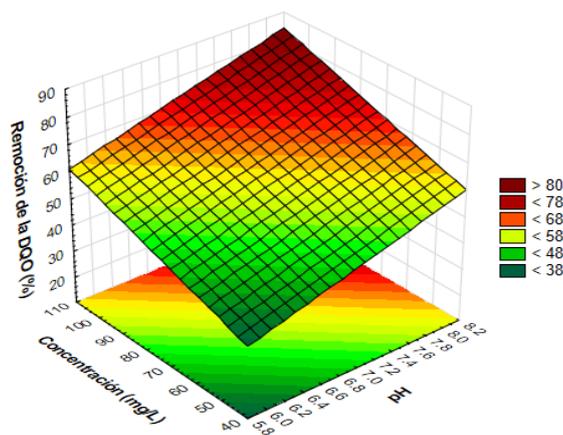
*Efectos principales para la remoción de la DQO del agua simulada tratada con AA*



La interacción entre el pH y la concentración de AA (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 42). Se observa que el porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno del agua simulada (%) aumenta a mayores valores de concentración de arcilla activada (mg/l) y a mayores valores de pH.

**Figura 42**

*Superficie de respuesta para la remoción de la DQO del agua simulada tratada con AA*



Los resultados obtenidos evidencian la remoción de la DQO del agua simulada tratada con los dos tipos de arcillas.

Para el agua simulada con sangre tratada con AN, se produjo la ionización del grupo carboxilo de la sangre a la especie  $COO^-$  al ser evaluado a  $pH=6$  (ácido). Es así que, el  $COO^-$  presentó afinidad por la zona aniónica de la arcilla, produciéndose la adsorción de esta especie y disminuyendo el contenido de materia orgánica de la muestra. Por otra parte, el grupo amina de la sangre se ionizó a  $NH_3^{+1}$  al ser evaluado a un  $pH= 8$  (básico), y la especie ionizada presentó mayor afinidad por la zona catiónica de la arcilla natural. Sin embargo, los resultados del punto de carga cero de la arcilla natural establecen una zona catiónica a  $pH > 8.35$ , por lo cual en el experimento solo se tuvo interacción de la sangre con la zona aniónica de la AN.

Mientras que, para el agua simulada con sangre tratada con AA, se produjo la ionización del grupo carboxilo de la sangre a la especie  $COO^-$  al ser evaluado a  $pH=6$  (ácido). De esta manera, el  $COO^-$  presentó atracción por la zona aniónica de la arcilla, produciéndose la adsorción de esta especie y disminuyendo el contenido de materia orgánica de la muestra. Por otra parte, el grupo amina de la sangre se ionizó a  $NH_3^{+1}$  al ser evaluado a un  $pH= 8$  (básico), y la especie ionizada presentó mayor afinidad por la zona catiónica de la arcilla activada, produciéndose la adsorción de las especies de  $NH_3^{+1}$  de la sangre.

Similares resultados lo reportan Al et al. (2000) con una reducción del 71% de remoción de la DQO usando arcilla activada para el tratamiento de efluentes con alto contenido de materia orgánica y compuestos fenólicos. Asimismo, Gonzales y Tupaz (2010), presentaron resultados de la remoción de materia orgánica en términos de DQO, de efluentes de industrias lácteas usando la arcilla bentonita y su modificación. Se hallaron valores de remoción del 71% en carga orgánica, cuyo DQO inicial fue de  $1606.90 \text{ mg } O_2/l$ . Además, en la otra industria se encontraron valores de remoción del 55.76 % partiendo de una DQO de  $88663.79 \text{ mg } O_2/l$

Por otro lado, Martínez (1999) reportó un incremento de la DQO inicial en efluentes de la industria textil utilizando como adsorbente la arcilla activada, donde se evidenció un porcentaje de variación negativa a  $\text{pH}=3$  y dosis de arcilla. Además, se condicionó a un  $\text{pH}=7$  y dosis de adsorbente, mostrando la misma tendencia de % de variación negativa del DQO. El resultado obtenido mostró que la arcilla no presenta acción adsorbente sobre ese tipo de efluente, y depende de las características del adsorbato y la naturaleza de la arcilla.

### **5.9.3. Evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Agua Simulada con Sangre Tratada con Arcilla Natural**

Los resultados de la  $DBO_5$  del agua simulada tratada con AN, se muestran en la Tabla 26, se reportaron datos que oscilan entre 1408 mg/l y 1969 mg/l de la  $DBO_5$  que corresponde al tratamiento inicial.

Luego de iniciar el proceso de adsorción con la AN, se obtuvieron datos de la  $DBO_5$  del tratamiento final, se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p\text{-value} < 0.05$ ), asimismo, se aprecia la influencia del  $\text{pH}$  y la concentración ( $p\text{-value} < 0.05$ ) en la  $DBO_5$ , puesto que, los mayores resultados los presenta a  $Tf_1$  ( $\text{pH}=6$ , 50 mg/l) y  $Tf_4$  ( $\text{pH}=8$ , 100 mg/l) reportando valores de 8057 mg/l y 7375.5 mg/l respectivamente. Mientras que los menores valores de la  $DBO_5$  los presenta a ( $\text{pH}=8$ , 50 mg/l) y ( $\text{pH}=6$ , 100 mg/l).

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es menor al 3% lo que significa que hay menor dispersión.

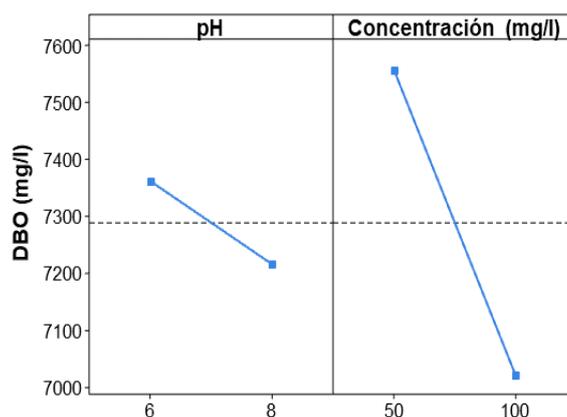
**Tabla 26***DBO<sub>5</sub> del agua simulada tratada con AN*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	<i>S</i>	C.V. (%)	*
<i>Ti</i> <sub>1</sub>	6	50	1650	$\pm$	57.2	3.46	
<i>Ti</i> <sub>2</sub>	6	100	1969	$\pm$	133.4	6.77	
<i>Ti</i> <sub>3</sub>	8	50	1468.5	$\pm$	57.2	3.89	
<i>Ti</i> <sub>4</sub>	8	100	1408	$\pm$	90.9	6.45	
<i>Tf</i> <sub>1</sub>	6	50	8057.5	$\pm$	90.9	1.13	a
<i>Tf</i> <sub>2</sub>	6	100	6666	$\pm$	135.1	2.03	d
<i>Tf</i> <sub>3</sub>	8	50	7056.5	$\pm$	104.8	1.49	c
<i>Tf</i> <sub>4</sub>	8	100	7375.5	$\pm$	135.1	1.83	b

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

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

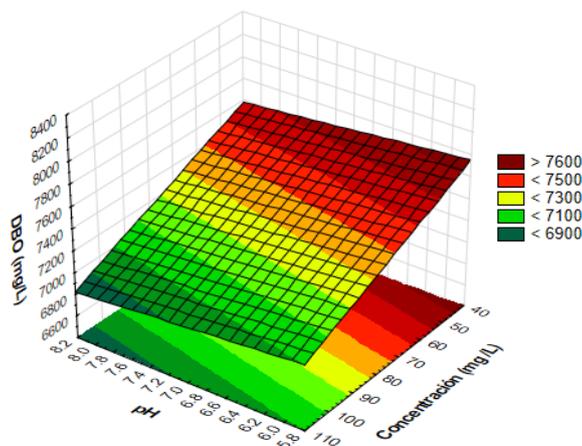
Por otro parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre la *DBO*<sub>5</sub> del agua simulada tratada con AN se muestra en la Figura 43, se observa que el pH presenta un efecto significativo disminuyendo la *DBO*<sub>5</sub>, mientras que el incremento de la concentración permite disminuir la *DBO*<sub>5</sub>.

**Figura 43***Efectos principales para la DBO<sub>5</sub> del agua simulada tratada con AN*

La interacción entre el pH y la concentración de AN (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 44). Se observa que la *DBO*<sub>5</sub> del agua simulada correspondiente al tratamiento final aumenta a menores valores de concentración de AN (mg/l) y a menores valores de pH.

Figura 44

Superficie de respuesta para la  $DBO_5$  del agua simulada tratada con AN



#### 5.9.4. Evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Agua Simulada con Sangre Tratada con Arcilla Activada

Los resultados de la  $DBO_5$  del agua simulada tratada con AA, se muestran en la Tabla 27, se reportaron datos que oscilan entre 1204.5 mg/l y 1853.5mg/l de la  $DBO_5$  que corresponde al tratamiento inicial.

Luego de iniciar el proceso de adsorción con la arcilla activada, se obtuvieron datos de la  $DBO_5$  del tratamiento final, se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p$ -value  $< 0.05$ ), asimismo, se aprecia la influencia del pH ( $P$ -VALUE  $< 0.05$ ) y concentración ( $P$ -VALUE  $< 0.05$ ) (anexo 1) en la  $DBO_5$ , puesto que, los mayores resultados los presenta a  $Tf_1$  (pH=6, 50 mg/l) y  $Tf_4$  (pH=8, 100 mg/l) reportando valores de 7463.5 mg/l y 7117 mg/l respectivamente. Mientras que los menores valores de la  $DBO_5$  los presenta a (pH=8, 50 mg/l) y (pH=6, 100 mg/l). Así también  $Tf_2$ ,  $Tf_3$  y  $Tf_4$  presentan valores estadísticamente similares.

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad es menor al 2% lo que significa que hay menor dispersión.

Tabla 27

$DBO_5$  del agua simulada tratada con AA

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)	*
$Ti_1$	6	50	1853.5	$\pm$	90.9	4.9	
$Ti_2$	6	100	1677.5	$\pm$	90.9	5.42	
$Ti_3$	8	50	1556.5	$\pm$	47.6	3.06	
$Ti_4$	8	100	1204.5	$\pm$	57.2	4.75	
$Tf_1$	6	50	7463.5	$\pm$	133.4	1.79	a
$Tf_2$	6	100	6930	$\pm$	135.1	1.95	b
$Tf_3$	8	50	7023.5	$\pm$	47.6	0.68	b
$Tf_4$	8	100	7117	$\pm$	104.8	1.47	b

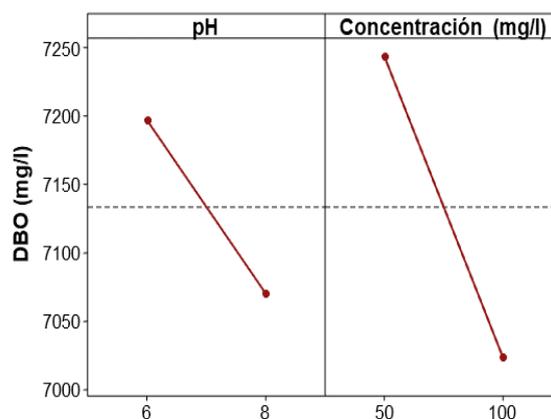
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V., es el coeficiente de variabilidad,  $Ti$  es el tratamiento inicial;  $Tf$  es el tratamiento final

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre la Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua simulada tratada con arcilla natural se muestra en la Figura 45. Se observa que el pH presenta un efecto significativo disminuyendo la DBO, mientras que el incremento de la concentración permite disminuir considerablemente la DBO.

Figura 45

Efectos principales para la  $DBO_5$  del agua simulada tratada con AA

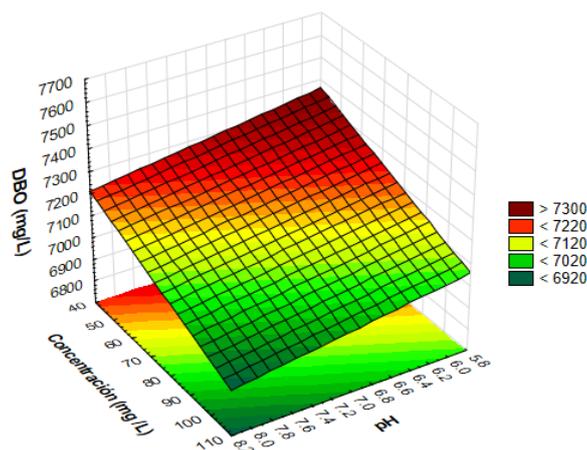


La interacción entre el pH y la concentración de AA (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 46). Se observa que la  $DBO_5$  del agua simulada

correspondiente al tratamiento final aumenta a menores valores de concentración de AA (mg/l) y a menores valores de pH

#### Figura 46

*Superficie de respuesta para la  $DBO_5$  del agua simulada tratada con AA*



#### 5.9.5. Evaluación del Carbono Orgánico Total del Agua Simulada Tratada con Arcilla Natural

Los resultados de COT del agua simulada tratada con AN se muestran en la Tabla 28, se reportaron datos que oscilan entre 0.0038 mg y 0.0086 mg que corresponde al tratamiento inicial.

Luego se inició el proceso de adsorción con la AN, y se obtuvo datos del COT del tratamiento final, se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p$ -value  $< 0.05$ ), además, se aprecia la influencia del pH y la concentración en el COT, puesto que, los mayores resultados se presentan el  $Tf_2$  y  $Tf_1$  reportando valores de 0.0358 mg y 0.0172 mg, mientras que, los menores valores de COT los presenta el  $Tf_3$  y  $Tf_4$ . Por otra parte, el coeficiente de variabilidad es alto para un pH=8 y concentración de 100 mg/l de arcilla natural, mientras que en los demás tratamientos se tiene una variación menor al 8% de sus datos, lo que está influenciado por el pH y concentración.

Tabla 28

COT del agua simulada tratada con AN

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)	*
$Ti_1$	6	50	0.0054	$\pm$	0.0008	14.78	
$Ti_2$	6	100	0.0078	$\pm$	0.0013	16.84	
$Ti_3$	8	50	0.0038	$\pm$	0.0002	5.94	
$Ti_4$	8	100	0.0086	$\pm$	0.0012	14.14	
$Tf_1$	6	50	0.0172	$\pm$	0.0006	3.41	b
$Tf_2$	6	100	0.0358	$\pm$	0.0027	7.51	a
$Tf_3$	8	50	0.0080	$\pm$	0.0002	2.32	c
$Tf_4$	8	100	0.0135	$\pm$	0.0023	16.73	b

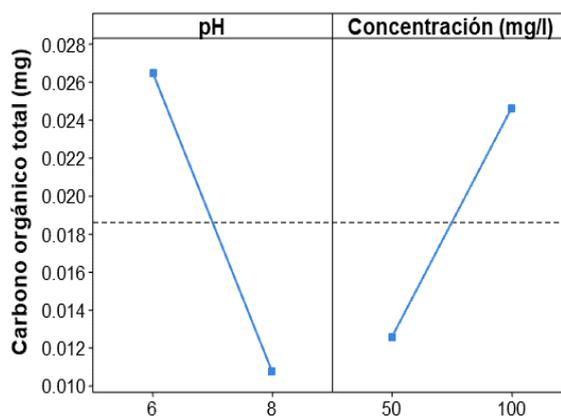
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V., es el coeficiente de variabilidad,  $Ti$  es el tratamiento inicial;  $Tf$  es el tratamiento final

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro parte, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el COT del agua simulada tratada con AN se muestra en la Figura 47, se observa que el pH presenta un efecto significativo disminuyendo el COT, mientras que el incremento de la concentración permite aumentar el COT.

Figura 47

Efectos principales para el COT del agua simulada tratada con AN

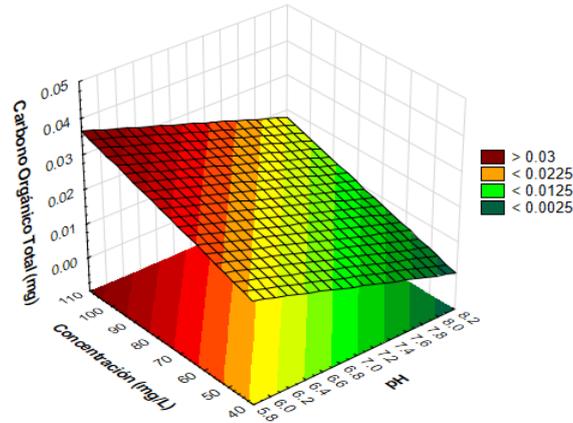


La interacción entre el pH y la concentración de AN (mg/l) describe una superficie de respuesta lineal (Figura 48). Se observa que el COT (mg) del agua simulada correspondiente al tratamiento final aumenta a mayores valores de

concentración de AN (mg/l) y a menores valores de pH.

#### Figura 48

*Superficie de respuesta para el COT del agua simulada tratada con AN*



#### 5.9.6. Evaluación del Carbono Orgánico Total del Agua Simulada Tratada con Arcilla Activada

Los resultados de COT del agua simulada con AA se muestran en la Tabla 29, se reportaron datos que oscilan entre 0.0051mg y 0.0097 mg que corresponde al tratamiento inicial.

Luego se inició el proceso de adsorción con la AA, y se obtuvo datos del COT del tratamiento final, se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p$ -value  $< 0.05$ ), además, se aprecia la influencia del pH y la concentración en el COT, puesto que, los mayores resultados se presentan en el  $Tf_2$  y  $Tf_4$  reportando valores de 0.0110 mg y 0.0100 mg, mientras que los menores valores de COT los presenta a  $Tf_1$  y  $Tf_3$ . Por otra parte, el coeficiente de variabilidad es menor al 6%, lo que significa que existe menor dispersión de sus datos.

Tabla 29

COT del agua simulada tratada con AA

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	<i>S</i>	C.V. (%)	*
<i>Ti</i> <sub>1</sub>	6	50	0.0062	$\pm$	0.0002	3.38	
<i>Ti</i> <sub>2</sub>	6	100	0.0051	$\pm$	0.0005	8.84	
<i>Ti</i> <sub>3</sub>	8	50	0.0093	$\pm$	0.0012	12.47	
<i>Ti</i> <sub>4</sub>	8	100	0.0097	$\pm$	0.0002	1.55	
<i>Tf</i> <sub>1</sub>	6	50	0.0072	$\pm$	0.0003	3.73	b
<i>Tf</i> <sub>2</sub>	6	100	0.0110	$\pm$	0.0008	7.13	a
<i>Tf</i> <sub>3</sub>	8	50	0.0084	$\pm$	0.0005	5.53	b
<i>Tf</i> <sub>4</sub>	8	100	0.0100	$\pm$	0.0002	1.55	a

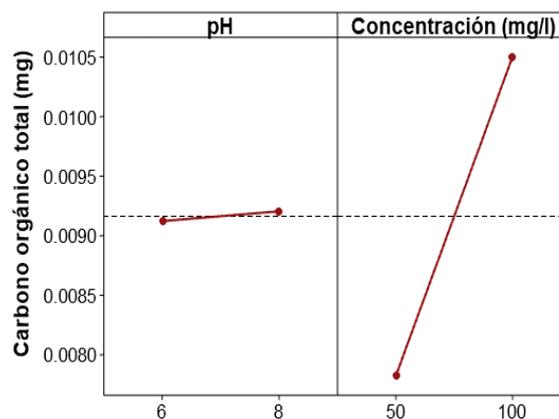
Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; *S*, es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad, *Ti* es el tratamiento inicial; *Tf* es el tratamiento final

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

Por otro lado, el efecto del pH y concentración (mg/l) sobre el COT del agua simulada tratada con AA se muestra en la Figura 49, se observa que el pH presenta un efecto significativo aumentando ligeramente el COT, mientras que el incremento de la concentración permite aumentar el COT.

Figura 49

Efectos principales para el COT del agua simulada tratada con AA

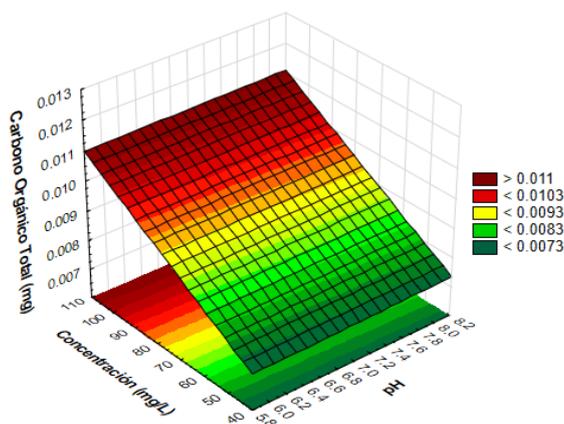


La Figura 50 muestra la interacción entre el pH y la concentración de AA (mg/l) describiendo una superficie de respuesta lineal. Se observa que el COT (mg) del agua

simulada correspondiente al tratamiento final aumenta a mayores valores de concentración de AA (mg/l) y es independiente del valor del pH.

**Figura 50**

*Superficie de respuesta para el COT del agua simulada tratada con AA*



## 5.10. Evaluación del Caso Práctico

### 5.10.1. Índice de Color del Agua Residual Tratada con Arcilla Activada

Los resultados del IC del agua residual tratada con AA se muestran en la Tabla 30, se observa que el tratamiento inicial presenta un valor promedio de 132.35, mientras que el tratamiento final un valor de 170.53.

Se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos (p-value <0.05), por otra parte, el coeficiente de variabilidad es menor al 3% lo que significa menor variación entre sus datos.

**Tabla 30**

*IC del agua residual tratada con AA*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	<i>S</i>	C.V. (%)	*
<i>Ti</i>	8	50	132.35	$\pm$	3.75	2.84	b
<i>Tf</i>	8	50	170.53	$\pm$	3.21	1.88	a

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

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

### 5.10.2. Diferencia de Color del Agua Residual Tratada con Arcilla Activada

Los resultados de la  $\Delta E$  del agua residual tratada con AA, se muestran en la Tabla 31, se observa que su valor promedio es de 2.025 y su coeficiente de variabilidad es menor del 10%, lo cual significa una ligera dispersión entre sus datos.

**Tabla 31**

*Diferencia de color del agua residual tratada con arcilla activada*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	<i>S</i>	C.V. (%)
<i>Tf - i</i>	8	50	2.025	$\pm$	0.193	9.53

Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; *S*, es la desviación estándar; C.V., es el coeficiente de variabilidad, *Tf - i* es la diferencia del tratamiento final y el tratamiento inicial.

### 5.10.3. Remoción de Color en Unidades Platino – Cobalto (UPC) del Agua Residual

#### *Tratada con Arcilla Activada*

Los resultados del porcentaje de remoción de color del agua residual tratada con AA se muestran en la Tabla 32, se observa que su valor promedio es de 8.291 % y su coeficiente de variabilidad es menor del 5%, lo cual significa una ligera dispersión entre sus datos.

**Tabla 32**

*Remoción de color en (UPC) del agua residual tratada con AA*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	<i>S</i>	C.V. (%)
<i>Tf - i</i>	8	50	8.291	$\pm$	0.375	4.52

Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; *S*, es la desviación estándar; C.V., es el coeficiente de variabilidad, *Tf - i* es la diferencia del tratamiento final y el tratamiento inicial.

### 5.10.4. Remoción de la Demanda Química de Oxígeno del Agua Residual Tratada con Arcilla Activada

Los resultados del porcentaje de remoción de la DQO del agua residual tratada con AA se muestran en la Tabla 33, se observa que su valor promedio es de 16.795 % y su coeficiente de variabilidad es menor del 1%, lo cual significa una ligera dispersión entre sus datos.

**Tabla 33**

*Remoción de la DQO del agua residual tratada con AA*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)
<i>Tf - i</i>	8	50	16.795	$\pm$	0.0479	0.28

Donde:  $\bar{x}$ , es el promedio aritmético; S, es la desviación estándar; C.V, es el coeficiente de variabilidad, *Tf - i* es la diferencia del tratamiento final y el tratamiento inicial.

### **5.10.5. Evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Agua Residual**

#### **Tratada con Arcilla Activada**

Los resultados de la  $DBO_5$  del agua residual tratada con AA se muestran en la (Tabla 34), se observa que el tratamiento inicial presenta un valor promedio de 13328 mg/l, mientras que el tratamiento final un valor de 13849 mg/l.

Se evidencia que no existe diferencia significativa entre los tratamientos (p-value >0.05), por otra parte, el coeficiente de variabilidad es menor al 8% lo que significa menor variación entre sus datos.

**Tabla 34**

*DBO<sub>5</sub> del agua residual tratada con AA*

Tratamiento	pH	Concentración (mg/l)	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)	*
<i>Ti</i>	8	50	13228	$\pm$	962	7.27	a
<i>Tf</i>	8	50	13849	$\pm$	440	3.18	a

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

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

### **5.10.6. Evaluación del Carbono Orgánico Total (mg) del Agua Residual Tratada con**

#### **Arcilla Activada**

Los resultados del COT del agua residual tratada con AA se muestran en la (Tabla 35), se observa que el tratamiento inicial presenta un valor promedio de 0.0115 mg, mientras que el tratamiento final un valor de 0.0095

Se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos (p-value <0.05), por otra parte, el coeficiente de variabilidad es menor al 5% lo que significa menor variación entre sus datos.

**Tabla 35***COT del agua residual tratada con AA*

<b>Tratamiento</b>	<b>pH</b>	<b>Concentración (mg/l)</b>	$\bar{x}$	$\pm$	<b>S</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>*</b>
<i>Ti</i>	8	50	0.0115	$\pm$	0.0001	0.93	a
<i>Tf</i>	8	50	0.0095	$\pm$	0.0004	4.41	b

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

\*Letras diferentes indican diferencia significativa, evaluada a través del test de Tukey al 5% de significancia.

### Conclusiones

- Se observó que el pH a solución básica y cantidad baja de AA (50 mg/L) permite mejorar la remoción de sangre del agua residual simulada.
- Se determinó el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en el porcentaje de remoción de color de la sangre de las aguas residuales, teniendo como mayor resultado del índice de color a un  $Tf_3$  y  $Tf_4$  con valores de 51.133 y 48.542, respectivamente; una mayor diferencia de color del  $Tf - i_1$  con un resultado de 9.541 y altos porcentajes de remoción del color en unidades Platino Cobalto (PCU) a  $Tf - i_2$  y  $Tf - i_1$  con valores de 38.72% y 31.46%.
- Se evaluó el efecto del pH y la concentración de nanoarcilla activada en la remoción de la materia orgánica de la sangre de las aguas residuales, obteniendo como mayores resultados del porcentaje remoción de la DQO entre  $Tf - i_3$  y  $Tf - i_2$  con valores de 82.08 % y 80.39%, respectivamente; un aumento de la DBO correspondiente al tratamiento final del  $Tf_1$  y  $Tf_4$  con valores de 7463.5 mg/l y 7117 mg/l ; y con mayores resultados de la cantidad de carbono orgánico total del  $Tf_2$  y  $Tf_4$  con 0.0110 mg y 0.0100 mg, respectivamente.
- Se desarrolló el caso práctico del uso de nanoarcilla activada en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal de San Jerónimo – Andahuaylas, obteniendo como resultado del índice de color de 170.53; en la diferencia de color un valor de 2.025; en el porcentaje de remoción de color en PCU con un valor de 8.291 %; en la remoción de la DQO con un valor de 16.8 %; con un valor de la DBO de 13849 mg/l; y con 0.0095 mg de carbono orgánico total.

### Recomendaciones

- Aplicar la AA a un pH básico en la remoción de contaminantes fosfatados.
- Realizar estudios de la cinética de adsorción a fin de establecer tiempos adecuados para la remoción de color.
- Realizar estudios de la cinética de adsorción a fin de establecer tiempos adecuados para la remoción de materia orgánica.
- Realizar estudios de isotermas de sorción con el fin de determinar la dosis y tiempo del adsorbente (AA).
- Aplicar la AA para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Andahuaylas.

### Referencias Bibliográficas

- Abass, A., Jameel, A. T., Muyubi, S. A., Abdul Karim, M. I., & Alam, A. M. Z. (1970). Removal of oil and grease as emerging pollutants of concern (EPC) in wastewater stream. *IJUM Engineering Journal*, 12(4), 161–169.  
<https://doi.org/10.31436/iijum.v12i4.218>
- Abdullah, A., & Mohammed, A. (2019). *Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review*. 77–85.  
[https://www.researchgate.net/publication/330169176\\_Scanning\\_Electron\\_Microscopy\\_SEM\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/330169176_Scanning_Electron_Microscopy_SEM_A_Review)
- Agencia Iberoamericana para la difusión de la Ciencia y Tecnología. (2017). *Arcillas para eliminar contaminantes de las aguas industriales*.  
<https://www.residuosprofesional.com/arcillas-eliminar-contaminantes-aguas/>
- Al-Malah, K., Azzam, M. O. J., & Abu-Lail, N. I. (2000). Olive mills effluent (OME) wastewater post-treatment using activated clay. *Separation and Purification Technology*, 20(2–3), 225–234. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(00\)00114-3](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(00)00114-3)
- Al Ani, T., & Sarapää, O. (2008). Clay and clay mineralogy. *Geochemical Survey of Finland, January 2008*, 1–94.  
[https://www.researchgate.net/publication/292706105\\_Clay\\_and\\_clay\\_mineralogy](https://www.researchgate.net/publication/292706105_Clay_and_clay_mineralogy)
- Almeida, C. A. P., Debacher, N. A., Downs, A. J., Cottet, L., & Mello, C. A. D. (2009). Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay. *Journal of Colloid and Interface Science*, 332(1), 46–53.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.12.012>
- Alves, J., Zanini, A., De Souza, M., & Nascimento, M. (2016). *Study of selection and purification of Brazilian bentonite clay by elutriation: a XRF, SEM and Rietveld analysis*. 62, 1–8. [https://doi.org/https://doi.org/10.1590/0366-691320](https://doi.org/10.1590/0366-691320)
- Amosa, M. K. (2016). Sorption of water alkalinity and hardness from high-strength wastewater on bifunctional activated carbon: process optimization, kinetics and

- equilibrium studies. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 37(16), 2016–2039. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1139631>
- Arpi Barrera, J. A., & Yunga Guamán, M. J. (2017). *Evaluación de la calidad de agua de los sectores Corazón de María y Zhirincay de la Junta Administradora de agua potable Regional Bayas del Cantón Azogues* [Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Carrera de Bioquímica y Farmacia].  
[http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27128/1/TESIS PDF..pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27128/1/TESIS%20PDF..pdf)
- Au, P. I., & Leong, Y. K. (2013). Rheological and zeta potential behaviour of kaolin and bentonite composite slurries. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 436, 530–541. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.06.039>
- Bejarano, M., Estrella, A., Ríos, A., & Rodríguez, M. (2020). *Estudio de la adsorción de los colorantes Drimaren Amarillo CL-2R y Basic Azul Marino 2 RN en arcillas activadas* Study of the adsorption of Drimaren Yellow CL-2R and Basic Navy Blue 2 RN dyes on activated clays *Introducción Metodología Colorantes Caracter.* 3(2), 93–107. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rns/v3n2/2631-2654-rns-3-02-00093.pdf>
- Benhammou, A., Yaacoubi, A., Nibou, L., & Tanouti, B. (2005). Study of the removal of mercury(II) and chromium(VI) from aqueous solutions by Moroccan stevensite. *Journal of Hazardous Materials*, 117(2–3), 243–249.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.09.023>
- Bergaya, F., & Lagaly, G. (2006). General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science. *Developments in Clay Science*. [https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(05\)01001-9](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(05)01001-9)
- Bhattacharjee, S. (2016). DLS and zeta potential - What they are and what they are not? *Journal of Controlled Release*, 235, 337–351.  
<https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.06.017>
- Boyles, W. (1997). *The Science of Chemical Oxygen Demand*.  
[https://www.researchgate.net/profile/Mark-Nowosad/post/Can\\_KHP\\_degrade\\_over\\_time/attachment/59d61def79197b807797c](https://www.researchgate.net/profile/Mark-Nowosad/post/Can_KHP_degrade_over_time/attachment/59d61def79197b807797c)

4d9/AS%3A274077935992832%401442356680620/download/Science+of+Chemical+Oxygen+Demand.pdf

- Brenniman, G. R. (2006). Biochemical oxygen demand. In *Environmental Geology: Vol. II* (pp. 45–46). Kluwer Academic Publishers. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4494-1\\_34](https://doi.org/10.1007/1-4020-4494-1_34)
- Çakmak, M., Taşar, Ş., Selen, V., Özer, D., & Özer, A. (2017). Removal of astrazon golden yellow 7GL from colored wastewater using chemically modified clay. *Journal of Central South University*, 24(4), 743–753. <https://doi.org/10.1007/s11771-017-3476-y>
- Calderón López, C. C., & Orellana Yañez, V. E. (2015). *Control de calidad del agua potable que se distribuye en los campus: Central, Hospitalidad, Balsay, Paraíso, Yanuncay y las granjas de Irquis y Romeral pertenecientes a la Universidad de Cuenca* [Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Bioquímica y Farmacia]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22285/1/Tesis.pdf>
- Camino Nuñez, G. E. (2022). *Ánàlisis experimental de la capacidad de la goma de tara (Caesalpinia spinosa) para la remoción de cadmio y plomo* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera Ingeniería en Biotecnología Ambiental]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17603>
- Campos Muñoz, B. E., Hernández Hernández, C., & Trujillo Acuña, P. B. (2017). *Tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial mediante electrofloculación en la ciudad de Lima* [Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3569>
- Candela Orduz, R. D. (2016). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas y del Medio Ambiente, Ingeniería Ambiental]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12170>

- Chipasa, K. B., & Mędrzycka, K. (2006). Behavior of lipids in biological wastewater treatment processes. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 33(8), 635–645. <https://doi.org/10.1007/s10295-006-0099-y>
- Choque, D., Ligarda, C., & Ramos, B. (2022). *Formulation of novel composite ( activated nanoclay / hydrocolloid of nostoc sphaericum ) and its application in the removal of heavy metals from wastewater*. <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/14/2803>
- Choque, Y. (2016). *Optimización de la capacidad floculante de dos especies de cactáceas en el tratamiento de aguas residuales* [Universidad Alas Peruanas]. [https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/3963/Tesis\\_Optimización\\_Capacidad\\_Floculante\\_Especies.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/3963/Tesis_Optimización_Capacidad_Floculante_Especies.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Choque, Y. (2021). *Extracción de coagulantes de cactáceas por liofilización para el tratamiento de agua de consumo humano* [Universidad Andina del Cusco, Escuela de Posgrado]. <http://www.actiweb.es/eduardoflorescondori/archivo4.pdf>
- Correa Gallardo, J. franco. (2016). *Caracterización de las aguas residuales de la localidad de Jesús y propuesta de tratamiento* [Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Hidráulica]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5077>
- Cortina Rosales, L., & López De Roux, M. del R. (2000). Utilización de la sangre y sus componentes celulares. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 16(2), 78–89. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-02892000000200001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-02892000000200001)
- Cuesta Zuñiga, E. E., & Nieto Burbano, A. S. (2022). *Evaluación de la capacidad de adsorción de arcillas naturales mediante cinética e isothermas de adsorción en la remoción de colorantes* [Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Carrera Ambiental]. [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9876/3/Cuesta\\_Erick\\_Nieto\\_Andres\\_Adsorción\\_de\\_colorantes.pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9876/3/Cuesta_Erick_Nieto_Andres_Adsorción_de_colorantes.pdf)
- Cuetos, M. J., Morán, A., Otero, M., & Gómez, X. (2009). Anaerobic co-digestion of

- poultry blood with OFMSW: FTIR and TG–DTG study of process stabilization. *Environmental Technology*, 30(6), 571–582.  
<https://doi.org/10.1080/09593330902835730>
- Daza, C. E., & Gallego, R. M. (2011). Estudio morfológico y estructural de una arcilla Colombiana pilarizada en presencia de ultrasonido y microondas ultrasound and microwaves. *Scientia et Technica Año XVI*, 49, 292–297.  
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1547/1023>
- Del Hoyo González, M. del P. (2012). *Valorización de sangre de mataderos mediante el desarrollo de nuevos materiales y productos* [Universidad de Oviedo, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente].  
<https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/12975/TDMariadelPilarHoyoGonzalez.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Andrade, M., & Pérez, L. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Dutta, A. (2017). Fourier Transform Infrared Spectroscopy. In *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization* (Vol. 2, pp. 73–93). Elsevier Inc.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46140-5.00004-2>
- Emam, E. A. (2013). Modified Activated Carbon and Bentonite Used to Adsorb Petroleum Hydrocarbons Emulsified in Aqueous Solution. *American Journal of Environmental Protection*, 2(6), 161. <https://doi.org/10.11648/j.ajep.20130206.17>
- Espinosa Antón, J. J. (2011). *Tratamiento de aguas residuales de matadero con elevado contenido en sangre mediante la combinación de procesos anaerobio de película fija (BAPF) y aerobio de membrana (MBR)* [Universidad de Burgos, Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos].  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=23936>
- Espinoza Peralta, S. (2017). *Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Municipal del distrito de Tumán* [Universidad de Lambayeque, Facultad de

Ingeniería, Facultad de Ingeniería].

[http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1748/DIONISIO  
ESPINOZA%20Adler Mauro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1748/DIONISIO%20ESPINOZA%20Adler%20Mauro.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Flores Jacinto, P. (2009). *Propuesta del índice de Calidad del agua residual para el distrito federal, utilizando un modelo aritmético ponderado* [Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Sección de Estudio de Posgrado e Investigación].

<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/5723>

Franco Urquiza, E., & Maspoch Rulduà, M. (2009). Estructura general de las arcillas utilizadas en la preparación de nanocompuestos poliméricos. *Ingenierías*, 12(44), 35–41.

García Espigares, M., & Pérez López, J. (1995). Aguas Residuales: Composición. In *Aspectos sanitarios de estudio de las aguas*.

[https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_R  
esiduales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

García Romero, E., & Suárez Barrios, M. (2014). Las Arcillas: Propiedades Y Usos. In *Universidad Complutense (Madrid), Universidad de Salamanca* (pp. 1–25).

<http://www.ingenieroambiental.com/nov/ga.pdf>

Gasca Flores, A. Y. (2015). *Interacción de la arcilla tipo Montmorillonita con agua y aceite en presencia de iones mono y divalentes y ácidos carboxílicos*. 1, 328–332.

<http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/2411>

Gonzales, M. (2010). *Adsorción*. [https://quimica.laguia2000.com/conceptos-  
basicos/adsorcion](https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/adsorcion)

Gonzales, M., & Tupaz, J. P. (2010). *Estudio de la utilización de arcillas modificadas como una posible alternativa en la remoción de carga orgánica en aguas residuales provenientes de las empresas Alival y lácteos Cruz de oriente del municipio de Pasto* [Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Programa de Ingeniería Agroindustrial]. <http://sired.udenar.edu.co/4687/>

- Grefa Vegay, L. G. (2013). *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales - Centro de Faenamiento Municipal de Ganado de Orellana* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3116>
- Guerrero Marín, G. A. (2010). *Diseño de ingeniería básica de una planta para la elaboración de sangre deshidratada para alimentos balanceados* [Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1665>
- Guevara Freire, D. A. (2011). *Estudio de la contaminación del agua y el inadecuado manejo de los desechos líquidos en el área de faenamiento de bovinos del camal frigorífico Ambato* [Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1779>
- Guevara Zumárraga, D. S. (2010). *Biorremoción de Cromo ( Cromo Total y Cromo VI ) en agua sintética por dos inóculos bacterianos nativos compuestos , a escala de laboratorio* [Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida, Ingeniería en Biotecnología]. [https://www.researchgate.net/publication/277207960\\_Biorremocion\\_de\\_cromo\\_cromo\\_total\\_y\\_como\\_VI\\_en\\_agua\\_sintetica\\_por\\_dos\\_inoculos\\_bacterianos\\_nativos\\_compuestos\\_a\\_escalade\\_laboratorio](https://www.researchgate.net/publication/277207960_Biorremocion_de_cromo_cromo_total_y_como_VI_en_agua_sintetica_por_dos_inoculos_bacterianos_nativos_compuestos_a_escalade_laboratorio)
- Gurd, C., Jefferson, B., Villa, R., & De Castro Rodriguez, C. (2020). Determination of fats, oils and greases in food service establishment wastewater using a modification of the Gerber method. *Water and Environment Journal*, 34(1), 5–13. <https://doi.org/10.1111/wej.12431>
- Hach, C., Klein, R., & Gibbs, C. (1997). *Introduction a Biochemical Oxygen Demand* (Vol. 19, Issue 7). <https://doi.org/10.1111/nep.12265>
- Hanna Instruments. (2022). *Norma de medida de la DQO y reactivos para su determinación*. <https://www.hannainst.es/blog/81/demanda-quimica-de-oxigeno>
- Hernández, M. Á., Rojas, F., Corona, L., Lara, V. H., Portillo, R., Salgado, M. A., &

- Petranoskii, V. (2005). Evaluación de la porosidad de zeolitas naturales por medio de curvas diferenciales de adsorción. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 21(2), 71–81.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992005000200071](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992005000200071)
- Hernández Rosales, P. (2018). *Situación técnico sanitaria del matadero de la provincia de Santa Cruz-2017* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Medicina y Veterinaria]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/3007/BC-TES-TMP-1826.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2015). Metodología de la Investigación. In *The McGraw-Hill* (Quinta, Vol. 4, Issue 1).
- Hnamte, M., & Pulikkal, A. K. (2022). Clay polymer nanocomposites for water and wastewater treatment: A comprehensive review. *Chemosphere*, 307, 135869.  
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135869>
- Ita Balta, Y. A., & López Mendéz, D. A. (2020). *Evaluación de la capacidad de adsorción del colorante reactivo SYNOZOL RED K-3BS como absorbente una arcilla modificada térmicamente* [Universidad Católica de Santa María, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica].  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10110>
- Iyim, T. B., & Güçlü, G. (2009). Removal of basic dyes from aqueous solutions using natural clay. *Desalination*, 249(3), 1377–1379.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.06.020>
- Izaguirre Ávila, R. (2016). *Propiedades de la sangre Fisiología humana* (McGraw Hill).  
<https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1858&sectionid=134364443>
- Jiménez Moleón, M. D. C., Gómez Albores, M. A., Expósito, J., & Hernández, M. (2018). Ciencias del agua: Perspectivas desde la academia. In *Universidad Autónoma del*

- Estado de México* (Issue March). <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/69498>
- Kausar, A., Iqbal, M., Javed, A., Aftab, K., Nazli, Z. i. H., Bhatti, H. N., & Nouren, S. (2018). Dyes adsorption using clay and modified clay: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 395–407. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.034>
- Khuri, A. I., & Mukhopadhyay, S. (2010). Response surface methodology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(2), 128–149. <https://doi.org/10.1002/wics.73>
- Kim, D.-S. (2003). Measurement of point of zero charge of bentonite by solubilization technique and its dependence of surface potencial on pH. *Environmental Engineering Research*, 8(4), 222–227. <https://doi.org/10.4491/eer.2003.8.4.222>
- Lau, L. M., Trasancos, L. R., & Silva, R. R. (2021). *Capacidad de adsorción de materiales naturales para el tratamiento de aguas de proceso de la actividad petrolera*. 41–52.
- Ligarda-Samanez, C. A., Moscoso-Moscoso, E., Choque-Quispe, D., Palomino-Rincón, H., Martínez-Huamán, E. L., Huamán-Carrión, M. L., Peralta-Guevara, D. E., Aroni-Huamán, J., Arévalo-Quijano, J. C., Palomino-Rincón, W., Cruz, G. D. la, Ramos-Pacheco, B. S., Muñoz-Saenz, J. C., & Muñoz-Melgarejo, M. (2022). Microencapsulation of erythrocytes extracted from *Cavia porcellus* blood in matrices of Tara Gum and Native Potato Starch. *Foods*, 11(14), 2107. <https://doi.org/10.3390/foods11142107>
- Lizana Yarleque, P. (2018). *Tratamiento de Aguas Residuales para el caserío Villa Palambra* [Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas]. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3636/ING\\_605.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3636/ING_605.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- López Calva, J. (2015). Determinación de la eficiencia de la laguna de oxidación de las aguas residuales del camal municipal del cantón Lago Agrio provincia de Sucumbios mediante el rediseño de la infraestructura física [Universidad Nacional

de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables]. In *Tesis de grado*.

<http://dx.doi.org/10.1080/01443410.2015.1044943><http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.581><https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2547ebf4-bd21-46e8-88e9-f53c1b3b927f/language-en><http://europa.eu/><http://www.leg.st>

Mader, M., Schmidt, C., van Geldern, R., & Barth, J. A. C. (2017). Dissolved oxygen in water and its stable isotope effects: A review. *Chemical Geology*, 473, 10–21.

<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.10.003>

Maldonado Ushiñahua, A. R. (2018). *Aplicación del clarificante de origen natural*

*(almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo - La Mina, Moyobamba - San Martín* [Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria].

[http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3024/ADMINISTRACION - Pamela Jhosymar Valles Vásquez %26 Martha Ruth Guerra Pinedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3024/ADMINISTRACION-Pamela%20Jhosymar%20Valles%20Vásquez%20Martha%20Ruth%20Guerra%20Pinedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)[http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3785/CIVIL - José Alfredo Díaz Lina](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3785/CIVIL-José%20Alfredo%20Díaz%20Lina)

Manjunath, N. T., Mehrotra, I., & Mathur, R. P. (2000). Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system. *Water Research*, 34(6), 1930–1936.

[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00337-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00337-1)

Martinez Cinco, M. A. (1999). *Evaluación de arcillas activadas, zeolita natural y zeolita modificada para la remoción de color en un efluente proveniente de la industria textil* [Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey].

<https://repositorio.tec.mx/handle/11285/567231>

Mascarell Moratal, J. M. (2019). *Química del Silicio*.

[https://www.uv.es/moratal/QI\\_1/Tema\\_6C\\_Silicio.pdf](https://www.uv.es/moratal/QI_1/Tema_6C_Silicio.pdf)

Mejía Miranda, C., Laverde, D., Avella, V., & Peña Ballesteros, D. Y. (2015). Adsorción

- de iones Ni(II) sobre una arcilla bentonítica peletizada. *Revista ION*, 28(2), 61–68.  
<https://doi.org/10.18273/revion.v28n2-2015005>
- Metcalf and Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*.
- Miranda Ramos, L. M. (2012). *Biosorción de plomo (III), presente en soluciones acuosas, con cascaca de tuna (Opuntia ficus - indica) (Issue li)* [Universidad Nacional de San Agustín, Escuela de Posgrado, Unión de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Formales].  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4426/QUDvalime.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Montalvo Arenas, C. E. (2010). Tejido sanguíneo y hematopoyesis. In *Universidad Nacional Autónoma de México*. <http://bct.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2018/08/Tejido-sanguineo.pdf>
- Montaño, D. F., Rosero, M., & Palma, R. T. (2020). Activated clays for the bleaching of palm oil and the removal of indigo carmin blue dye from water. *Produccion y Limpia*, 14(2), 21–29. <https://doi.org/10.22507/PML.V14N2A2>
- Muñoz Muñoz, D. (2005). *Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: para una población menor 2000 habitantes*.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117975>
- Musa, M. A., & Idrus, S. (2021). Physical and biological treatment technologies of slaughterhouse wastewater: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9), 1–20.  
<https://doi.org/10.3390/su13094656>
- Ng, M., Dalhatou, S., Wilson, J., Kamdem, B. P., Temitope, M. B., Paumo, H. K., Djelal, H., Assadi, A. A., Nguyen-Tri, P., & Kane, A. (2022). Characterization of Slaughterhouse Wastewater and Development of Treatment Techniques: A Review. *Processes*, 10(7), 1300. <https://doi.org/10.3390/pr10071300>
- Niriella, D., & Carnahan, R. P. (2006). Comparison Study of Zeta Potential Values of Bentonite in Salt Solutions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 27(1),

- 123–131. <https://doi.org/10.1081/DIS-200066860>
- Novikova, L., Ayrault, P., Fontaine, C., Chatel, G., Jérôme, F., & Belchinskaya, L. (2016). Effect of low frequency ultrasound on the surface properties of natural aluminosilicates. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 598–609. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.02.014>
- Oganismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Osorio Trujillo, A. F., & Martínez Cajigas, M. E. (2018). Validación de un método para el análisis de color real en agua. *Revista de La Facultad de Ciencias*, 7(1), 143–155. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.68086>
- Peña, G., & Yabarrena, L. (2019). Estudio del efecto de contaminación de los productos agrícolas irrigados con aguas de la sub cuenca del río Huatanay, Cusco - Perú. [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Agrarias]. In *Tesis de grado*. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/2874/253T20171097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez Tomas, L. V. (2017). *Estudio de la capacidad de adsorción de las arcillas organofílicas en la remoción de nitrofenoles y clorofenoles* [Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8849>
- Ramos Leyva, R. (2007). Importancia y aplicaciones de la adsorción en fase líquida. *Sólidos Porosos, Preparación, Caracterización y Aplicaciones.*, 1, 155–211. [https://www.researchgate.net/publication/320407302\\_Importancia\\_y\\_Aplicaciones\\_de\\_la\\_Adsorcion\\_en\\_Fase\\_Liquida](https://www.researchgate.net/publication/320407302_Importancia_y_Aplicaciones_de_la_Adsorcion_en_Fase_Liquida)
- Reiriz Palacio, J. (2014). *El Sistema Inmune y la Sangre*. [https://www.infermeravirtual.com/esp/actividades\\_de\\_la\\_vida\\_diaria/ficha/generalidades/sangre\\_y\\_sistema\\_inmune](https://www.infermeravirtual.com/esp/actividades_de_la_vida_diaria/ficha/generalidades/sangre_y_sistema_inmune)
- Reyes Araujo, W. (2020). Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas

- mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma- Aquafil [Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. In *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15532/Reyes\\_aw.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15532/Reyes_aw.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rivasplata Flores, L. F. (2016). *Generación de escorrentía superficial a partir de información climática en la cuenca de la quebrada Huertas. Chilete, Cajamarca* [Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Hidráulica].
- <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3580>
- Rojas Villalva, Y., & Zarate Vasquez, C. C. (2015). *Efecto del pH y el tiempo de contacto en la adsorción de cromo hexavalente de una solución acuosa utilizando montmorillonita como adsorbente* [Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Química].
- <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1012>
- Román, G. (2021). *Estudio computacional de la estructura y reactividad de materiales porosos y su interacción con moléculas de interés farmacéutico* [Universidad Nacional del Sur]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5724>
- Rosas, N. M., & Guerrero, V. H. (2014). Activación química de nanoarcillas y su aplicación en la remoción de metales pesados. *Ix Congreso De Ciencia Y Tecnología Espe 2014*, 117–122.
- <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/view/92>
- Savy, V., D'Alessandro, O., Valle, G. M., & Briand, L. E. (2012). Absorción en la Vida Cotidiana: Un Experimento de Físicoquímica con Aplicación Ambiental. *Formación Universitaria*, 5(2), 37–40. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062012000200005>
- Sillanpaa, M. (2015). *Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods - Mika Sillanpaa - Google Libros*.

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=\\_57vAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=organic+matter+of+water&ots=kpisVaasaZ&sig=2PBiyU9ouwcEZkYi18bdYB1efNU#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=_57vAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=organic+matter+of+water&ots=kpisVaasaZ&sig=2PBiyU9ouwcEZkYi18bdYB1efNU#v=onepage&q&f=false)

Sposito, G. (1998). On points of zero charge. *Environmental Science and Technology*, 32(19), 2815–2819. <https://doi.org/10.1021/es9802347>

Tesillo, M. (2022). Análisis y caracterización colorimétrica de zumos de naranja por espectrofotometría de reflexión y transmisión [Pontificia Universidad Católica del Perú]. In *Tesis de posgrado*. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/183831>

Tsai, W. T., Lai, C. W., & Hsien, K. J. (2003). Effect of particle size of activated clay on the adsorption of paraquat from aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science*, 263(1), 29–34. [https://doi.org/10.1016/S0021-9797\(03\)00213-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9797(03)00213-3)

Tuesta, E., Vivas, M., Sun, R., & Gutarra, A. (2005). Modificación química de arcillas y su aplicación en la retención de colorantes. *Quím. Perú*, 10. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v71n1/a05v71n1>

Universidad Nacional de la Plata. (2019). *Estudian propiedades de la arcilla para remover contaminantes del agua*. <https://unlp.edu.ar/investigacion/estudian-propiedades-de-la-arcilla-para-remover-contaminantes-del-agua-16346-21346/>

Vane, L. M., & Zang, G. M. (1997). Effect of aqueous phase properties on clay particle zeta potential and electro-osmotic permeability: Implications for electro-kinetic soil remediation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 55(1–3), 1–22. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(97\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(97)00010-1)

Velde, B., & Meunier, A. (2008). *The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=r7SmZ217vLMC&oi=fnd&pg=PR6&dq=origin+of+clays&ots=8VOFhD\\_5dK&sig=EXubQwYR96cH4qjMKFYCASpIBow#v=onepage&q=origin+of+clays&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=r7SmZ217vLMC&oi=fnd&pg=PR6&dq=origin+of+clays&ots=8VOFhD_5dK&sig=EXubQwYR96cH4qjMKFYCASpIBow#v=onepage&q=origin+of+clays&f=false)

Verma, A., Wei, X., & Kusiak, A. (2013). Predicting the total suspended solids in

- wastewater: A data-mining approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(4), 1366–1372. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.08.015>
- Vignoni, L. A., M. Césari, R., Forte, M., & Mirábile, M. L. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica*, 17(6), 63–67. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>
- Worch, E. (2012). Adsorption Technology in Water Treatment. In *Adsorption Technology in Water Treatment*. <https://doi.org/10.1515/9783110240238>
- Zaher, K., & Hammam, G. (2014). Correlation between Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand for Various Wastewater Treatment Plants in Egypt to Obtain the Biodegradability Indices. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 13(1), 42–48. <https://www.gssrr.org/index.php/JournalOfBasicAndApplied/article/view/1382>
- Zárate Anchante, G. B. (2005). *Aplicación de las arcillas en el tratamiento de efluentes electroquímicos* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Química]. [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2294/Zarate\\_ag.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2294/Zarate_ag.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## Anexos

### Anexo 1. ANOVA y prueba de rangos múltiples para el Índice de Color

#### ANOVA para el Índice de Color por tratamiento final de la arcilla natural

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	273.082	91.027	89.37	0.000
Error	8	8.148	1.019		
Total	11	281.230			

#### Prueba de rangos múltiples para el Índice de color por tratamiento final de la arcilla natural

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
T3,1,F	3	57.772	A		
T4,1,F	3	48.741		B	
T1,1,F	3	46.306		B	C
T2,1,F	3	46.035			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### ANOVA para el Índice de Color por tratamiento final de la arcilla activada

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	99.09	33.029	21.24	0.000
Error	8	12.44	1.555		
Total	11	111.53			

#### Prueba de rangos múltiples para el Índice de color por tratamiento final de la arcilla activada

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
T3,1,F	3	51.133	A		
T4,1,F	3	48.542	A		
T1,1,F	3	47.97	A		
T2,1,F	3	43.176		B	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### ANOVA para el Índice de Color del caso práctico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	2186.90	2186.90	179.18	0.000
Error	4	48.82	12.20		
Total	5	2235.72			

**Prueba de rangos múltiples para el Índice de color por tratamiento final del caso práctico**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
F	3	170.53	A
I	3	132.35	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 2. ANOVA y prueba de rangos múltiples para la diferencia de color**

**ANOVA para la diferencia de color por tratamiento de la arcilla natural**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	46.53	15.510	11.52	0.003
Error	8	10.77	1.346		
Total	11	57.30			

**Prueba de rangos múltiples para la diferencia de color por tratamiento de la arcilla natural**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T2,1,F-I	3	11.267	A
T3,1,F-I	3	10.758	A
T4,1,F-I	3	9.281	A
T1,1,F-I	3	6.21	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**ANOVA para la diferencia de color por tratamiento de la arcilla activada**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	74.03	24.677	14.31	0.001
Error	8	13.80	1.725		
Total	11	87.83			

**Prueba de rangos múltiples para la diferencia de color por tratamiento de la arcilla activada**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T1,1,F-I	3	9.541	A
T3,1,F-I	3	5.98	B
T2,1,F-I	3	5.250	B
T4,1,F-I	3	2.582	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Anexo 3. ANOVA y prueba de rangos múltiples para la el color (UPC)

#### ANOVA para el color (UPC) por tratamiento final de la arcilla natural

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	1460.80	486.933	2197.33	0.000
Error	8	1.77	0.222		
Total	11	1462.57			

#### Prueba de rangos múltiples el color (UPC) por tratamiento final de la arcilla natural

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
T1,1,I	3	40.542	A		
T2,1,I	3	38.9313		B	
T4,1,I	3	19.217			C
T3,1,I	3	16.367			D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### ANOVA para el color (UPC) por tratamiento final de la arcilla activada

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	415.875	138.625	577.20	0.000
Error	8	1.921	0.240		
Total	11	417.796			

#### Prueba de rangos múltiples el color (UPC) por tratamiento final de la arcilla activada

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
T2,1,I	3	38.7158	A		
T1,1,I	3	31.458		B	
T3,1,I	3	25.878			C
T4,1,I	3	23.395			D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Anexo 4. ANOVA y prueba de rangos múltiples para el DQO

#### ANOVA para el DQO por tratamiento de la arcilla natural

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	6846.56	2282.19	8350.13	0.000
Error	8	2.19	0.27		
Total	11	6848.75			

#### Prueba de rangos múltiples para la DQO por tratamiento de la arcilla natural

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
T4,1,I	3	72.177	A		
T2,1,I	3	48.882		B	
T1,1,I	3	18.703			C

T3,1,I	3	13.031				D
--------	---	--------	--	--	--	---

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### ANOVA para el DQO por tratamiento de la arcilla activada

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	7160.57	2386.86	6454.54	0.000
Error	8	2.96	0.37		
Total	11	7163.53			

#### Prueba de rangos múltiples para la DQO por tratamiento de la arcilla activada

Tratamiento	N	Media	Agrupación			
T3,1,I	3	82.077	A			
T2,1,I	3	80.3854		B		
T4,1,I	3	57.840			C	
T1,1,I	3	21.528				D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### Anexo 4. ANOVA y prueba de rangos múltiples para la DBO

##### ANOVA para el DBO por tratamiento de la arcilla natural

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	3120779	1040260	74.68	0.000
Error	8	111441	13930		
Total	11	3232220			

##### Prueba de rangos múltiples para la DBO por tratamiento de la arcilla natural

Tratamiento	N	Media	Agrupación			
Tf1	3	8057.5	A			
Tf4	3	7375.5		B		
Tf3	3	7056.5			C	
Tf2	3	6666.0				D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

##### ANOVA para el DBO por tratamiento de la arcilla activada

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	488053	162684	13.21	0.002
Error	8	98555	12319		
Total	11	586608			

### Prueba de rangos múltiples para la DBO por tratamiento de la arcilla activada

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
Tf1	3	7463.5	A	
Tf4	3	7117.0		B
Tf3	3	7023.5		B
Tf2	3	6930.0		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### ANOVA para el DBO por tratamiento del caso práctico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	579393	579393	1.04	0.366
Error	4	2237714	559428		
Total	5	2817107			

### Prueba de rangos múltiples para la DBO por tratamiento del caso práctico

Tratamiento	N	Media	Agrupación
F1	3	13849	A
I1	3	13228	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Anexo 5. ANOVA y prueba de rangos múltiples para el COT

#### ANOVA para el COT por tratamiento de la arcilla natural

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0.001309	0.000436	137.26	0.000
Error	8	0.000025	0.000003		
Total	11	0.001335			

### Prueba de rangos múltiples para el COT por tratamiento de la arcilla natural

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
Tf2	3	0.03580	A	
Tf1	3	0.017165		B
Tf4	3	0.01351		B
Tf3	3	0.007985		C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**ANOVA para el COT por tratamiento de la arcilla activada**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0.000025	0.000008	36.04	0.000
Error	8	0.000002	0.000000		
Total	11	0.000027			

**Prueba de rangos múltiples para el COT por tratamiento de la arcilla activada**

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
Tf2	3	0.011005	A	
Tf4	3	0.010005	A	
Tf3	3	0.008405		B
Tf1	3	0.007240		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**ANOVA para el COT por tratamiento del caso práctico**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0.000006	0.000006	63.18	0.001
Error	4	0.000000	0.000000		
Total	5	0.000006			

**Prueba de rangos múltiples para el COT por tratamiento del caso práctico**

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
I1	3	0.011537	A	
F1	3	0.009543		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 6. ANOVA y prueba de rangos múltiples para el PH****ANOVA para el pH por tratamiento de la arcilla natural**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0.282326	0.094109	14478.26	0.000
Error	8	0.000052	0.000006		
Total	11	0.282378			

**Prueba de rangos múltiples para el pH por tratamiento de la arcilla natural**

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
Ti3	3	6.91467	A		
Ti4	3	6.79500		B	
Ti1	3	6.77067			C
Ti2	3	6.49567			D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**ANOVA para el pH por tratamiento de la arcilla activada**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0.624975	0.208325	54345.65	0.000
Error	8	0.000031	0.000004		
Total	11	0.625006			

**Prueba de rangos múltiples para el pH por tratamiento de la arcilla activada**

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
Ti3	3	6.77167	A		
Ti4	3	6.75900		B	
Ti1	3	6.75800		B	
Ti2	3	6.23600			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 7. ANOVA y prueba de rangos múltiples para la concentración de la sangre****ANOVA para la concentración de la sangre por tratamiento de la arcilla natural**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	90.011	30.0037	69.19	0.000
Error	8	3.469	0.4337		
Total	11	93.480			

**Prueba de rangos múltiples para la concentración de la sangre por tratamiento de la arcilla natural**

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
Ti2	3	80.5246	A		
Ti4	3	80.373	A		
Ti3	3	76.662		B	
Ti1	3	73.967			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**ANOVA para la concentración de la sangre por tratamiento de la arcilla activada**

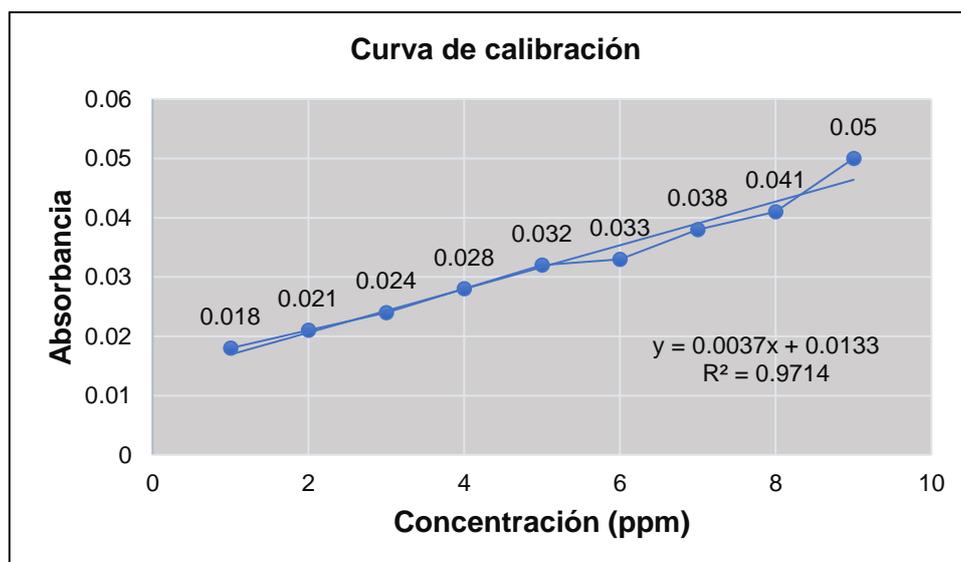
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	214.799	71.5998	300.57	0.000
Error	8	1.906	0.2382		
Total	11	216.705			

### Prueba de rangos múltiples para la concentración de la sangre por tratamiento de la arcilla activada

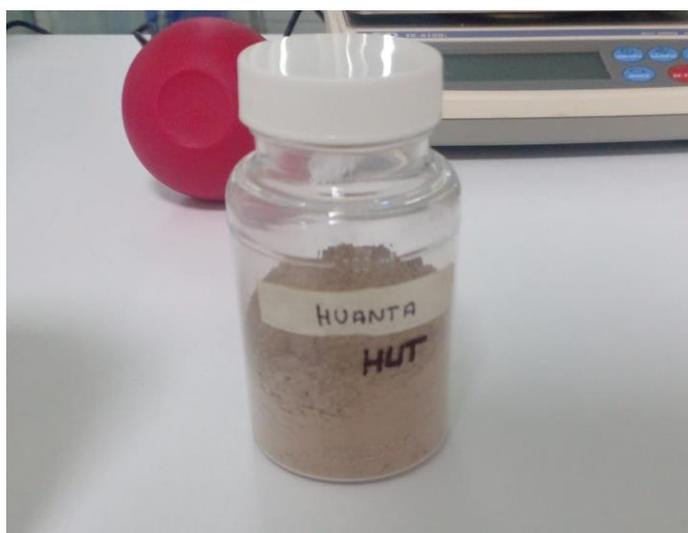
Tratamiento	N	Media	Agrupación
Ti1	3	83.7661	A
Ti4	3	83.512	A
Ti3	3	75.206	B
Ti2	3	75.15	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

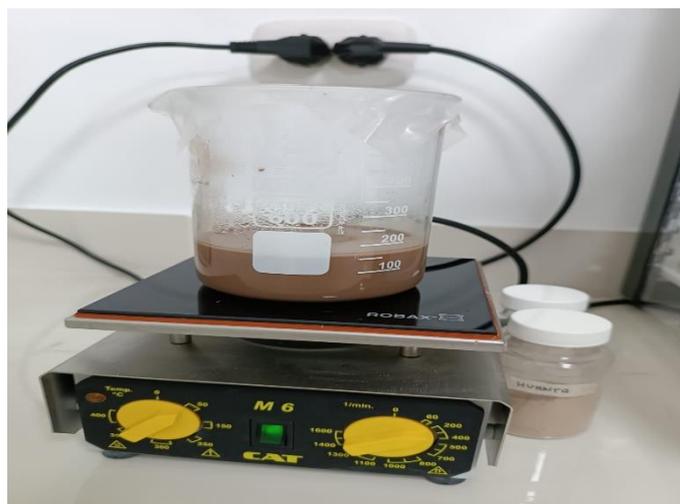
### Anexo 8. Curva de calibración de la sangre vacuna



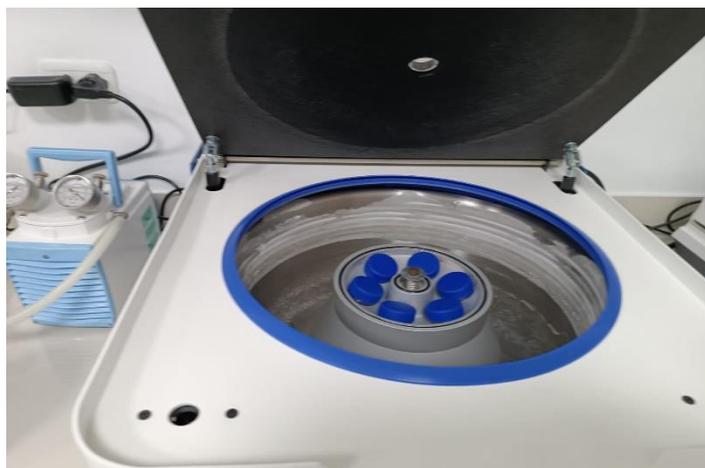
### Anexo 9. Arcilla natural



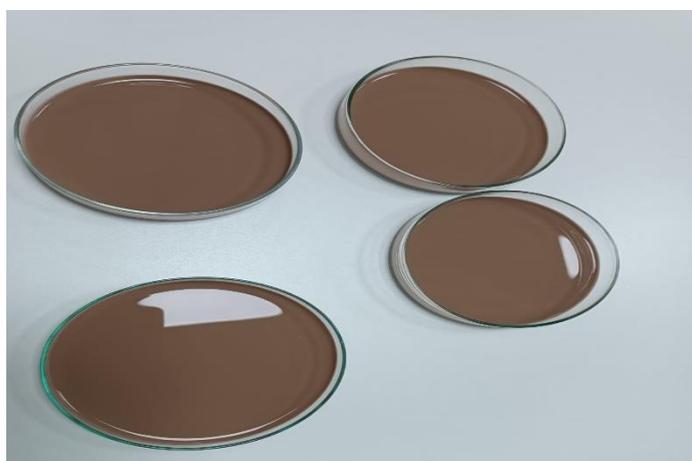
### Anexo 10. Tratamiento de la arcilla con ácido fosfórico



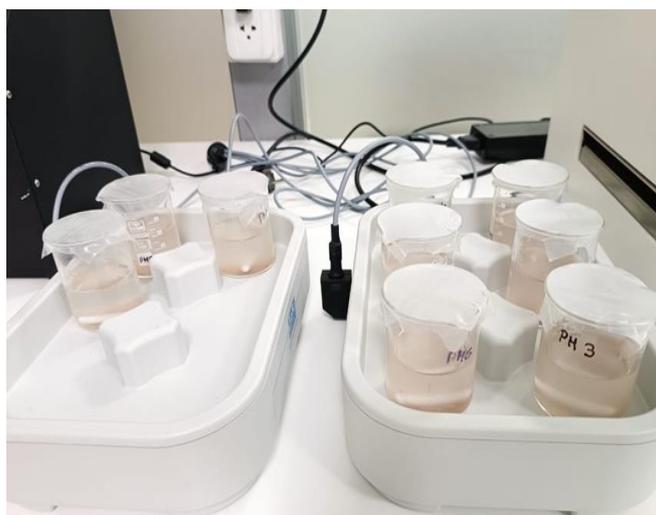
### Anexo 11. Centrifugación de muestras

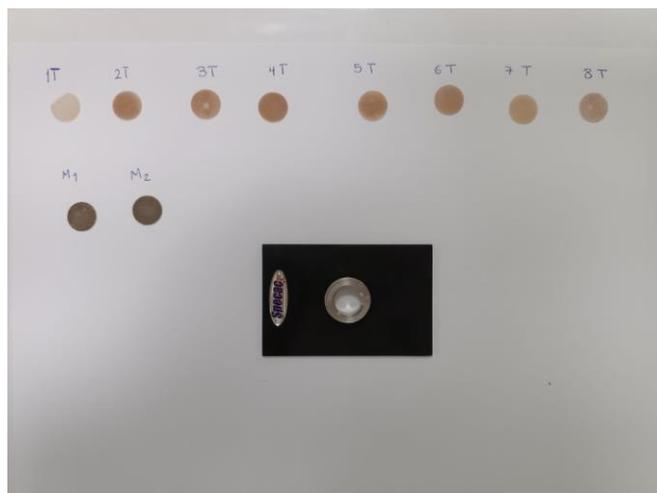
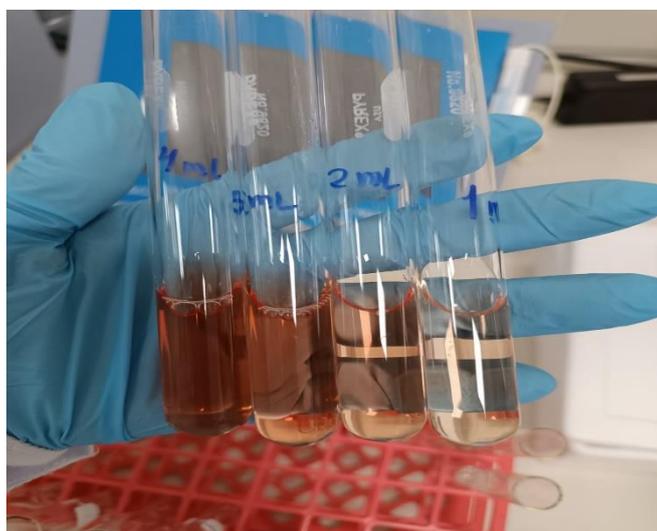


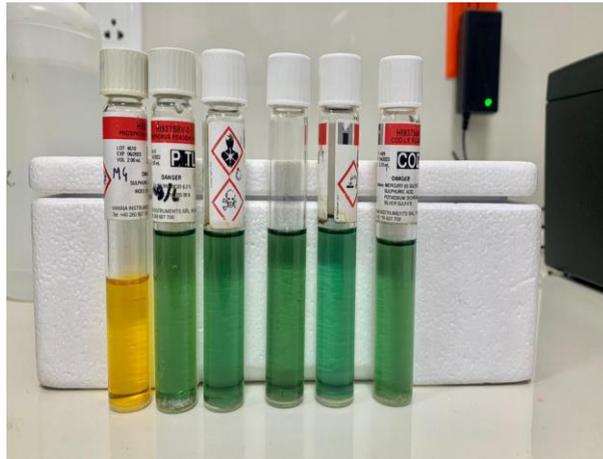
### Anexo 12. Secado de muestras





**Anexo 16. Punto de Carga Cero de la arcilla****Anexo 17. Potencial zeta y tamaño de partícula de la arcilla**

**Anexo 18. Pellets de KBr de la arcilla, la sangre y los tratamientos****Anexo 19. Curva de calibración de la sangre****Anexo 20. DBO de la muestra de sangre tratada**

**Anexo 21. DQO de la muestra de sangre tratada****Anexo 22. COT de la muestra de sangre tratada****Anexo 23. Análisis del color**

**Anexo 24. Tratamiento y acondicionamiento del caso práctico****Anexo 25. Tratamiento y filtración para el caso simulado**

Anexo 26. Recojo de muestras del agua residual del camal



## Anexo 27. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DEFINICIÓN DE OPERACIONES			RECOLECCIÓN DE DATOS	
			VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	MÉTODO	TÉCNICA	EQUIPOS Y MATERIALES
<b>GENERAL</b>	<b>GENERAL</b>	<b>GENERAL</b>	<b>DE ENTRADA</b>				
¿Cuál es el efecto del PH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de la sangre de las aguas residuales, y aplicarlo en un caso práctico para aguas procedente del camal de San Jerónimo, Andahuaylas?	Evaluar el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de la sangre de las aguas residuales; Caso práctico – camal de San Jerónimo, Andahuaylas	El efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de la sangre de las aguas residuales; Caso práctico – camal de San Jerónimo, Andahuaylas es significativo	Potencial de hidrogeniones (pH)	Es una medida adimensional que expresa la cantidad de iones de hidrogeno en una solución. Asimismo, mide el nivel de alcalinidad o basicidad que presenta dicha muestra (Choque, 2021).	Analítico	Potenciométrico	Potenciómetro
			- Concentración de nanoarcilla activada	La nanoarcilla pertenece a un conjunto de compuestos minerales de aluminosilicato(Tuesta et al., 2005), esta posee la propiedad de adsorción y al someterse a un tratamiento ácido, mejora esta característica(Martinez, 1999)	Formulación	Medición directa	Balanza Analítica
<b>ESPECÍFICO</b>	<b>ESPECÍFICO</b>	<b>ESPECÍFICO</b>	<b>DE SALIDA</b>				
¿Cuál es el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en el porcentaje de remoción del color de la sangre de las aguas residuales?	Determinar el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en el porcentaje de remoción del color de la sangre de las aguas residuales.	El efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en el porcentaje de remoción del color de la sangre de las aguas residuales es significativo	- Color	Es una propiedad física, la cual se debe la presencia de sustancias coloreadas que se encuentran en suspensión o disueltas en el agua (Calderón y Orellana, 2015)	Colorimétrico	Colorimétrico	Espectrofotómetro
¿Cuál el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de materia orgánica de la sangre de las aguas residuales?	Determinar el efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de materia orgánica de la sangre de las aguas residuales	El efecto del pH y concentración de nanoarcilla activada en la remoción de materia orgánica de la sangre de las aguas residuales es significativo	- Materia Orgánica	Su composición aproximadamente es de 80% de agua y el resto de materia seca, de la que el 60% son glóbulos sanguíneos, el 30% es albúmina, y el 5% son sustancias inorgánicas, siendo el resto lípidos (2%) y otras proteínas(Espinosa, 2011)	Oxímetro	Oximetría	Sensores Oxitop
¿Cómo será el comportamiento de nanoarcilla activada en el tratamiento de aguas residuales procedente del camal de san Jerónimo – Andahuaylas?	Desarrollar un caso práctico del uso de nanoarcilla activada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes del camal de San Jerónimo - Andahuaylas	La nanoarcilla activada presenta una gran capacidad de remoción de la sangre de las aguas residuales.			Dicromático	Colorimétrica	Fotómetro
					Combustión	Combustión	Analizador del COT