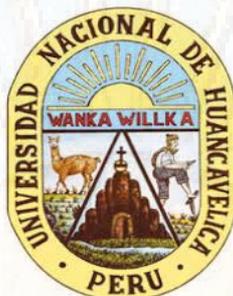


# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por ley N°25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
Y SANITARIA



## TESIS:

**“DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DEL  
COAGULANTE DE *Moringa oleifera* EN LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DE LA  
QUEBRADA TACZANAPAMPA DE LA CIUDAD DE HUANCVELICA”**

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y/O SANITARIA

## PRESENTADO POR:

Bach. CARRIZALES CONDORI, ROSALI LOREN

Bach. ENRÍQUEZ NATEROS, NILO ABELARDO

## PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCVELICA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 29 días del mes de mayo del año 2019, a horas 4:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Jorge Luis HUERE PEÑA (PRESIDENTE)**, **M.Sc. Víctor Guillermo SÁNCHEZ ARAUJO (SECRETARIO)**, **Mg. Cesar CASTAÑEDA CAMPOS (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 585-2017-FCI-UNH, de fecha 20 de diciembre del 2019 y ratificados con Resolución de Decano N° 089-2019-FCI-UNH de fecha 28 de mayo del 2019, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DEL COAGULANTE DE *Moringa Oleifera* EN LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DE LA QUEBRADA TACZANAPAMPA DE LA CIUDAD DE HUANCAVELICA", presentado por los Bachilleres **Rosali Loren CARRIZALES CONDORI** y **Nilo Abelardo ENRÍQUEZ NATEROS**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; en presencia del **M.Sc. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA**, como Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas... 7:45...; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

**Rosali Loren CARRIZALES CONDORI**

APROBADO  POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

**Nilo Abelardo ENRÍQUEZ NATEROS**

APROBADO  POR UNANIMIDAD

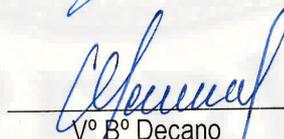
DESAPROBADO

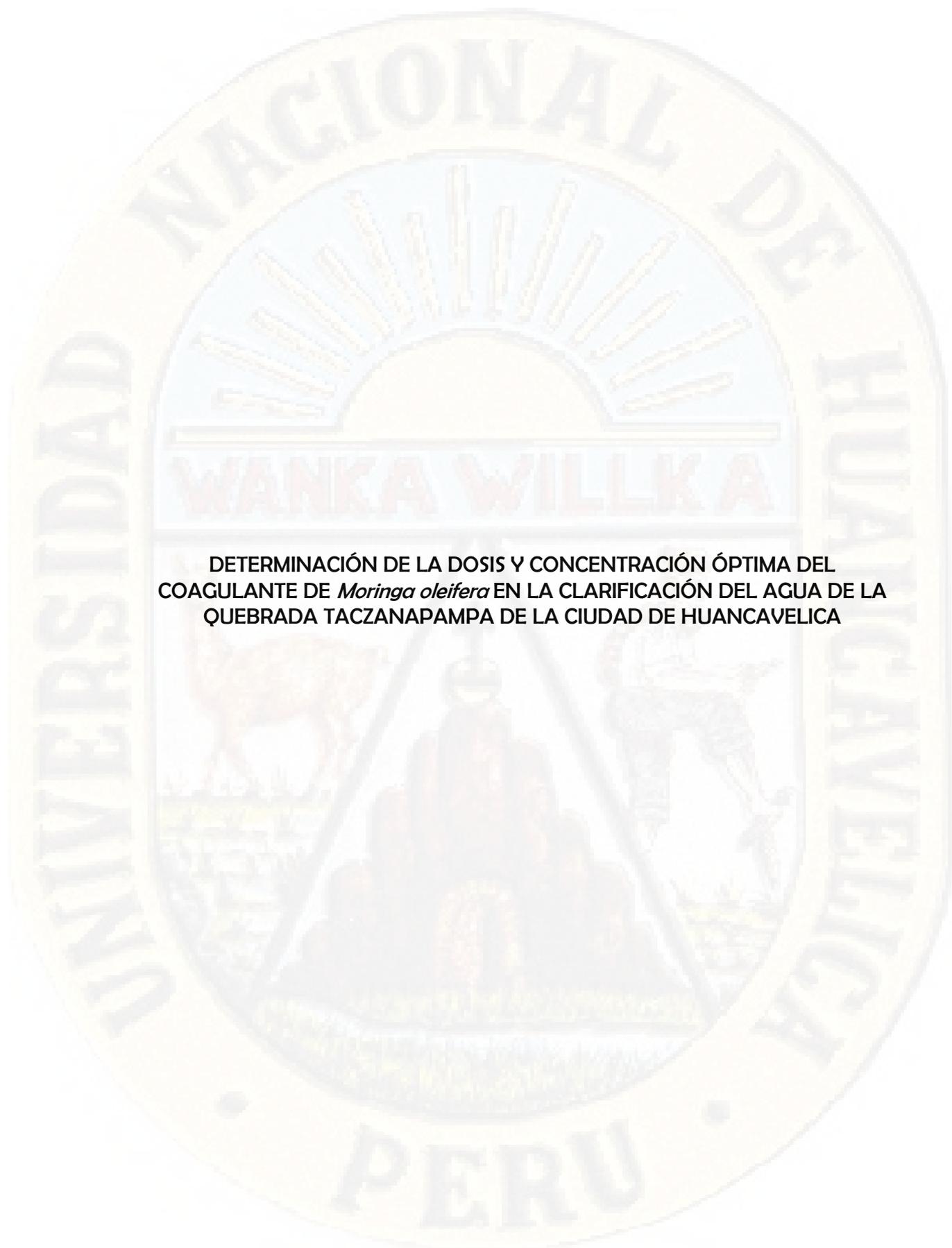
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

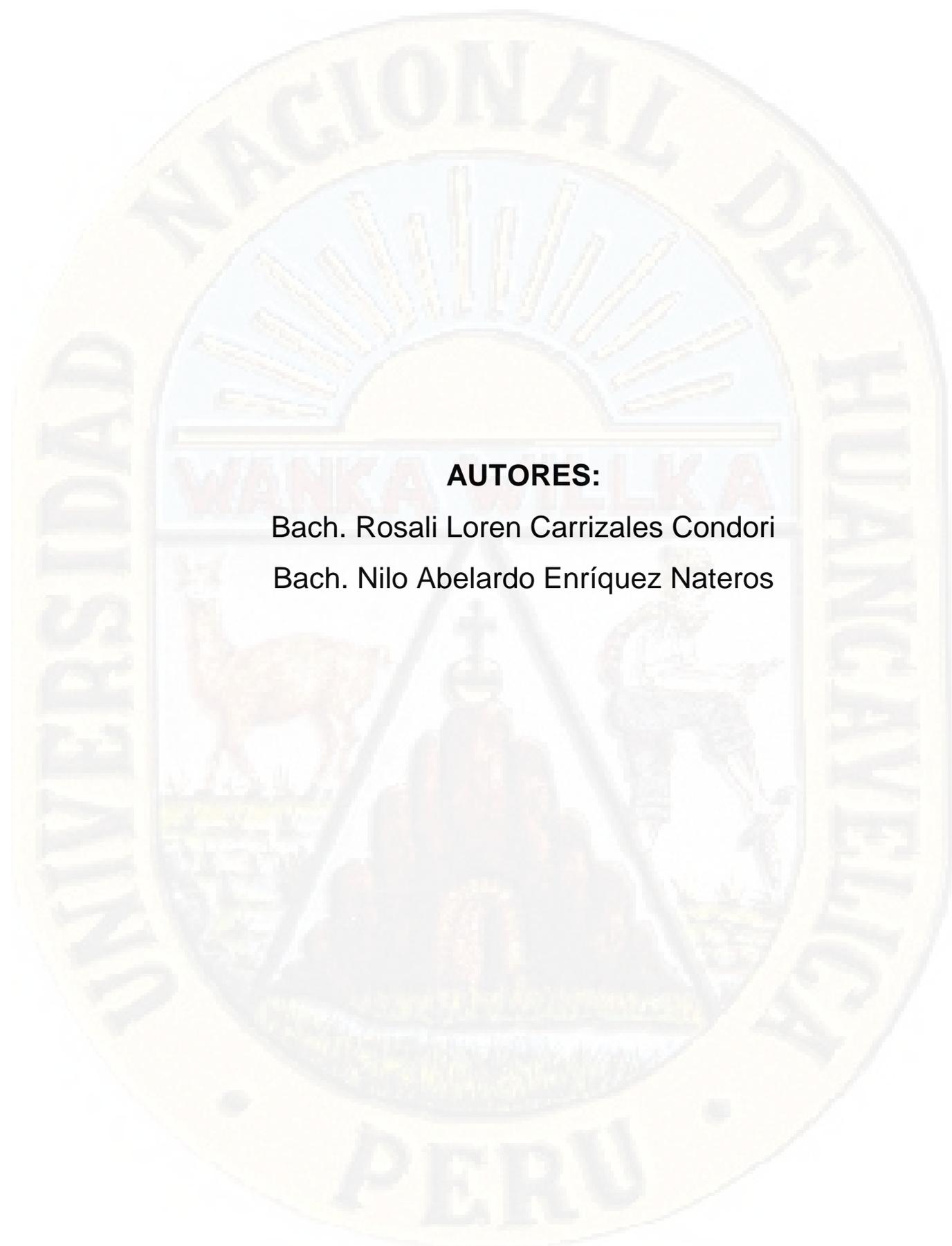
  
\_\_\_\_\_  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
Vº Bº Decano



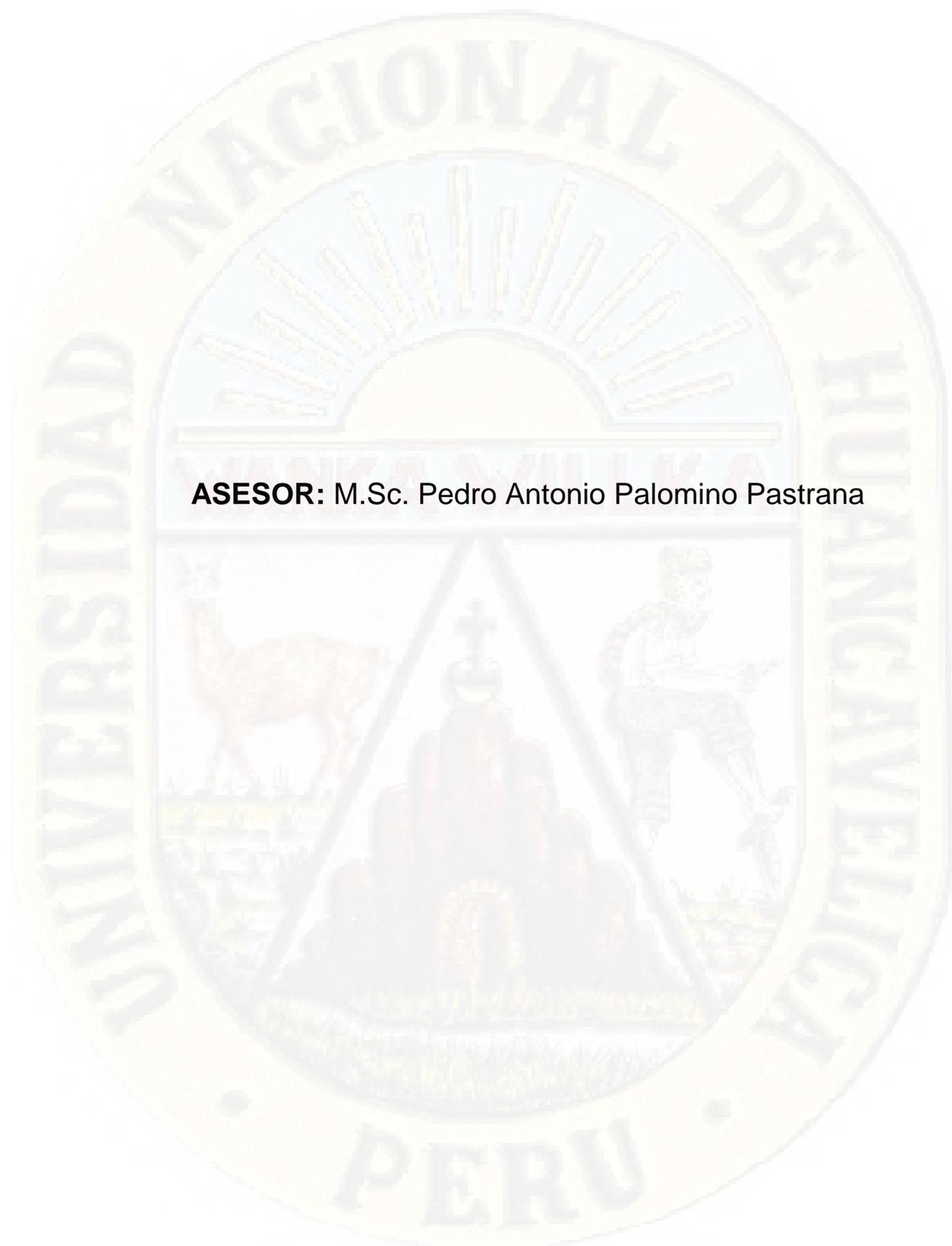
**DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DEL  
COAGULANTE DE *Moringa oleifera* EN LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DE LA  
QUEBRADA TACZANAPAMPA DE LA CIUDAD DE HUANCVELICA**



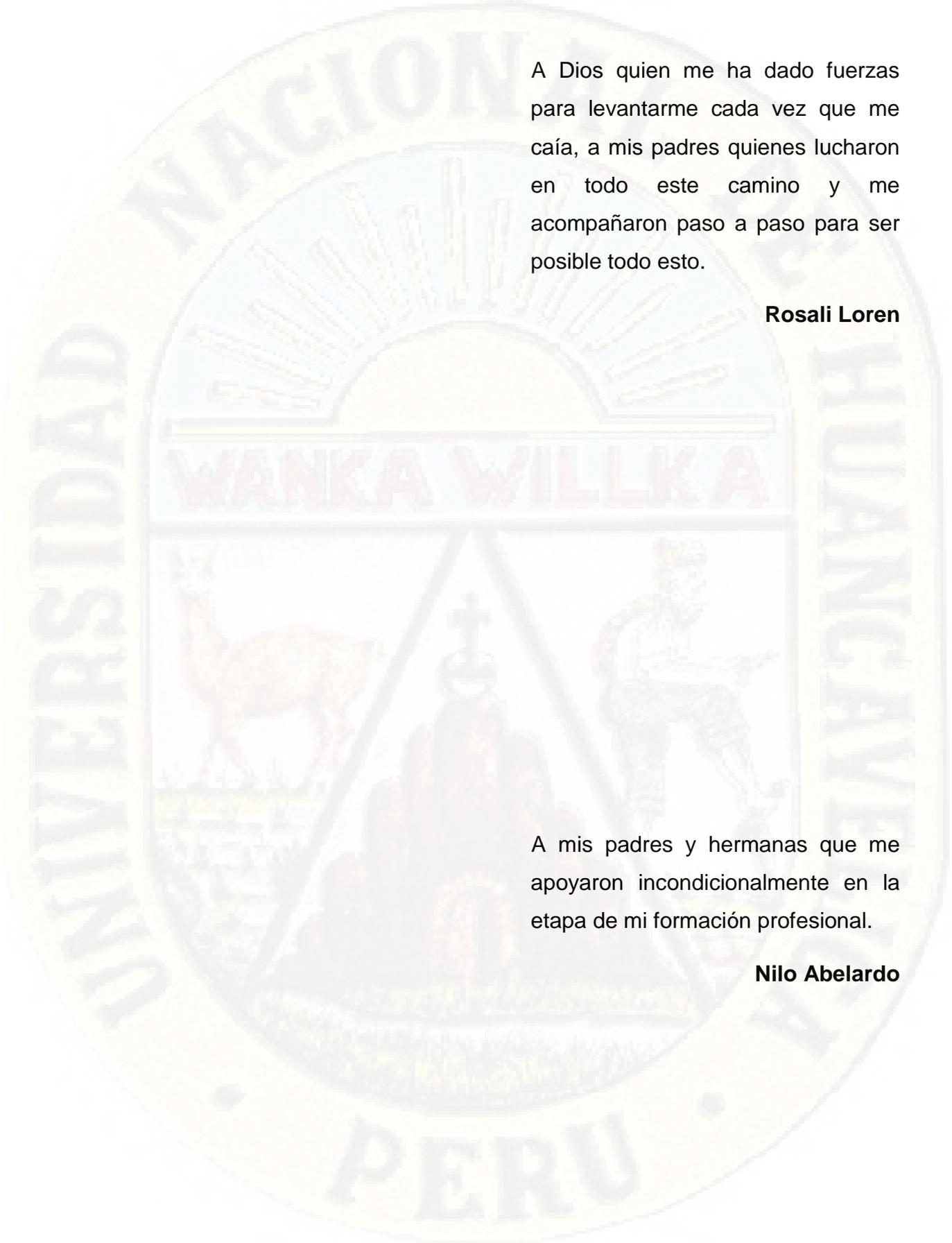
**AUTORES:**

Bach. Rosali Loren Carrizales Condori

Bach. Nilo Abelardo Enríquez Nateros



**ASESOR:** M.Sc. Pedro Antonio Palomino Pastrana

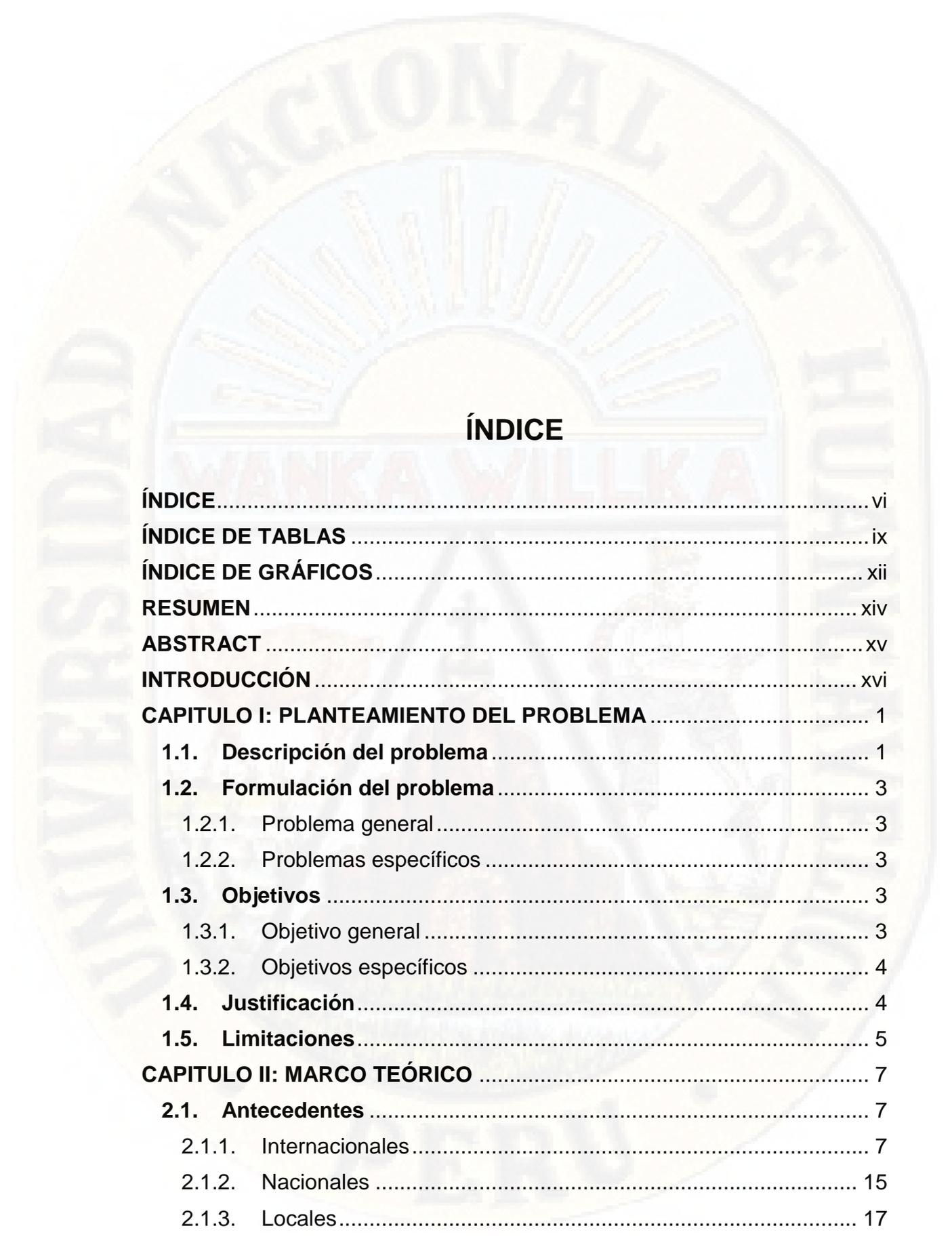


A Dios quien me ha dado fuerzas para levantarme cada vez que me caía, a mis padres quienes lucharon en todo este camino y me acompañaron paso a paso para ser posible todo esto.

**Rosali Loren**

A mis padres y hermanas que me apoyaron incondicionalmente en la etapa de mi formación profesional.

**Nilo Abelardo**

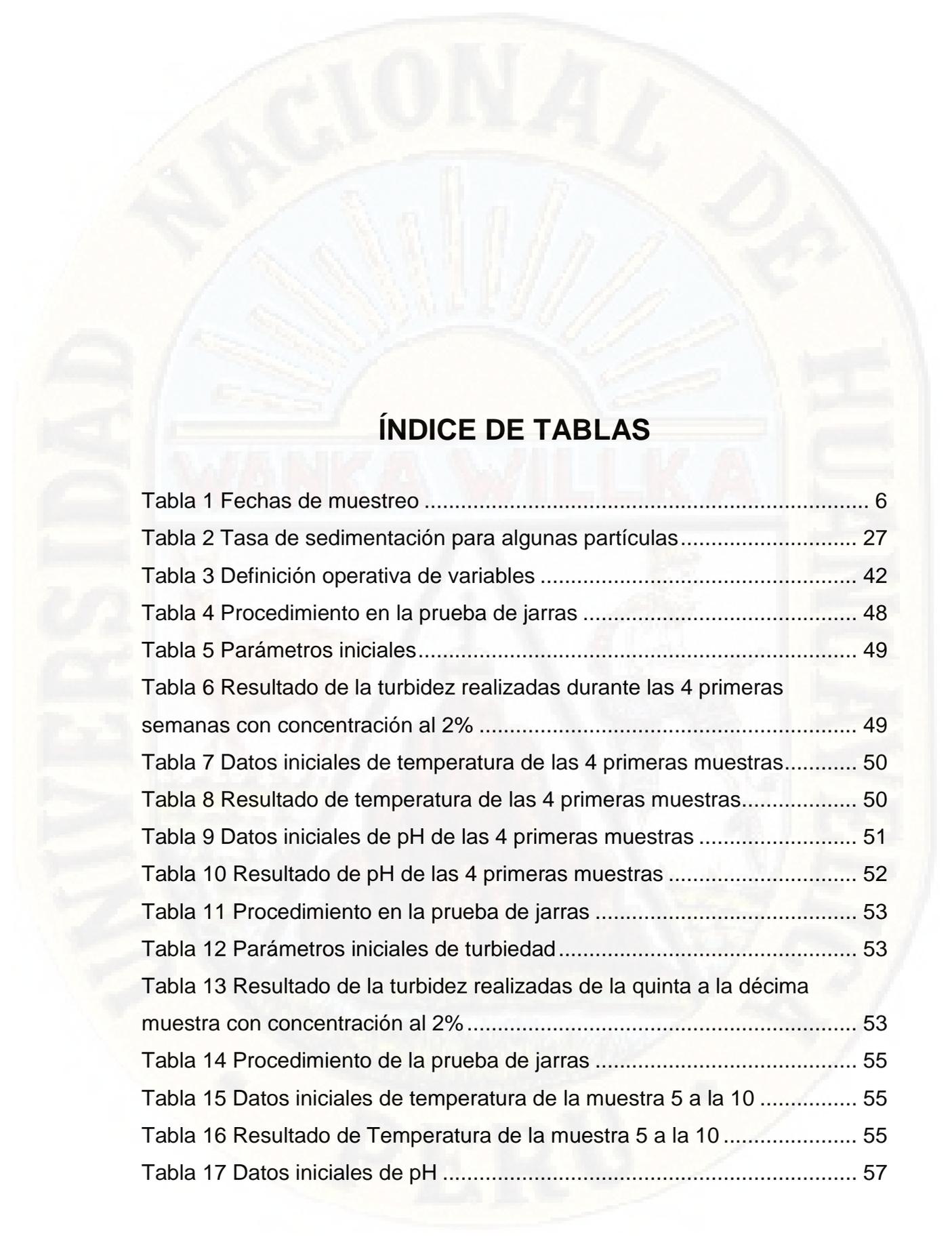


## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	xii
<b>RESUMEN</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xvi
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
<b>1.1. Descripción del problema</b> .....	1
<b>1.2. Formulación del problema</b> .....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
<b>1.3. Objetivos</b> .....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
<b>1.4. Justificación</b> .....	4
<b>1.5. Limitaciones</b> .....	5
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>2.1. Antecedentes</b> .....	7
2.1.1. Internacionales.....	7
2.1.2. Nacionales.....	15
2.1.3. Locales.....	17

<b>2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación</b>	17
2.2.1. Teoría de la coagulación	17
<b>2.3. Bases conceptuales</b>	23
2.2.1 El Agua	23
2.2.2 Características del agua	24
2.2.3 Calidad del agua	26
2.2.4 Procesos de remoción de la turbiedad	27
2.2.5 Coagulante natural para la remoción de la turbiedad	36
<b>2.4. Definición de términos</b>	39
<b>2.5. Hipótesis</b>	40
2.5.1. Hipótesis general	40
2.5.2. Hipótesis específicas	40
<b>2.6. Variables</b>	41
<b>2.7. Operacionalización de variables</b>	42
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	43
<b>3.1. Ámbito temporal y espacial</b>	43
<b>3.2. Tipo de investigación</b>	43
<b>3.3. Nivel de investigación</b>	44
<b>3.4. Población, muestra y muestreo</b>	44
<b>3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b>	44
<b>3.6. Técnicas y procesamiento de análisis de datos</b>	47
<b>CAPITULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b>	48
<b>4.1. Análisis de información</b>	48
<b>4.2. Prueba de hipótesis</b>	67
<b>4.3. Discusión de resultados</b>	79
4.3.1 Para dosis menores a 50 UNT	79
4.3.2 Para dosis mayores a 50 UNT y menores de 150 UNT	80
4.3.3 Para concentraciones hasta 150 UNT	81
<b>CONCLUSIONES</b>	82
<b>RECOMENDACIONES</b>	83
<b>REFERENCIAS</b>	84
<b>ANEXOS</b>	88
<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>	89



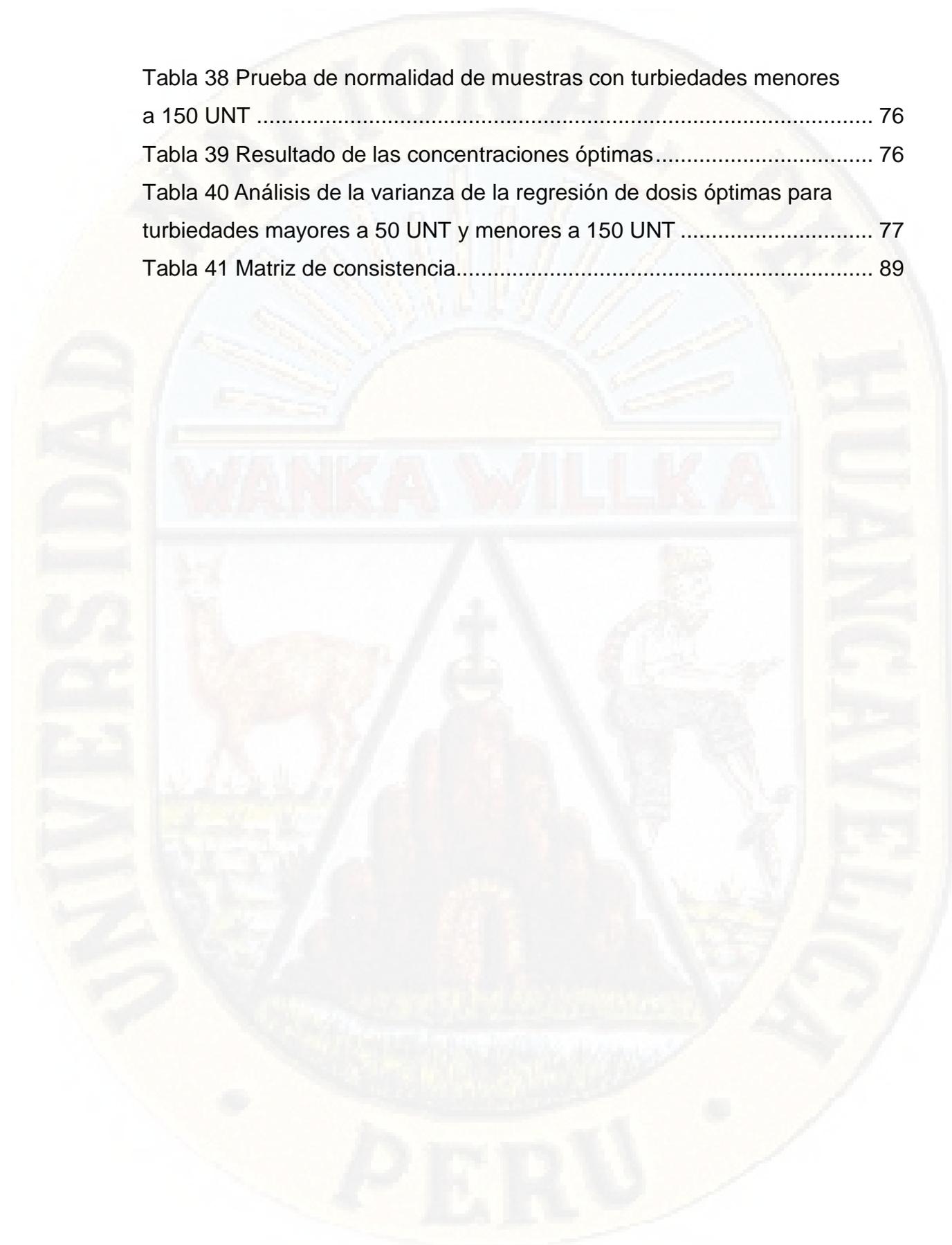


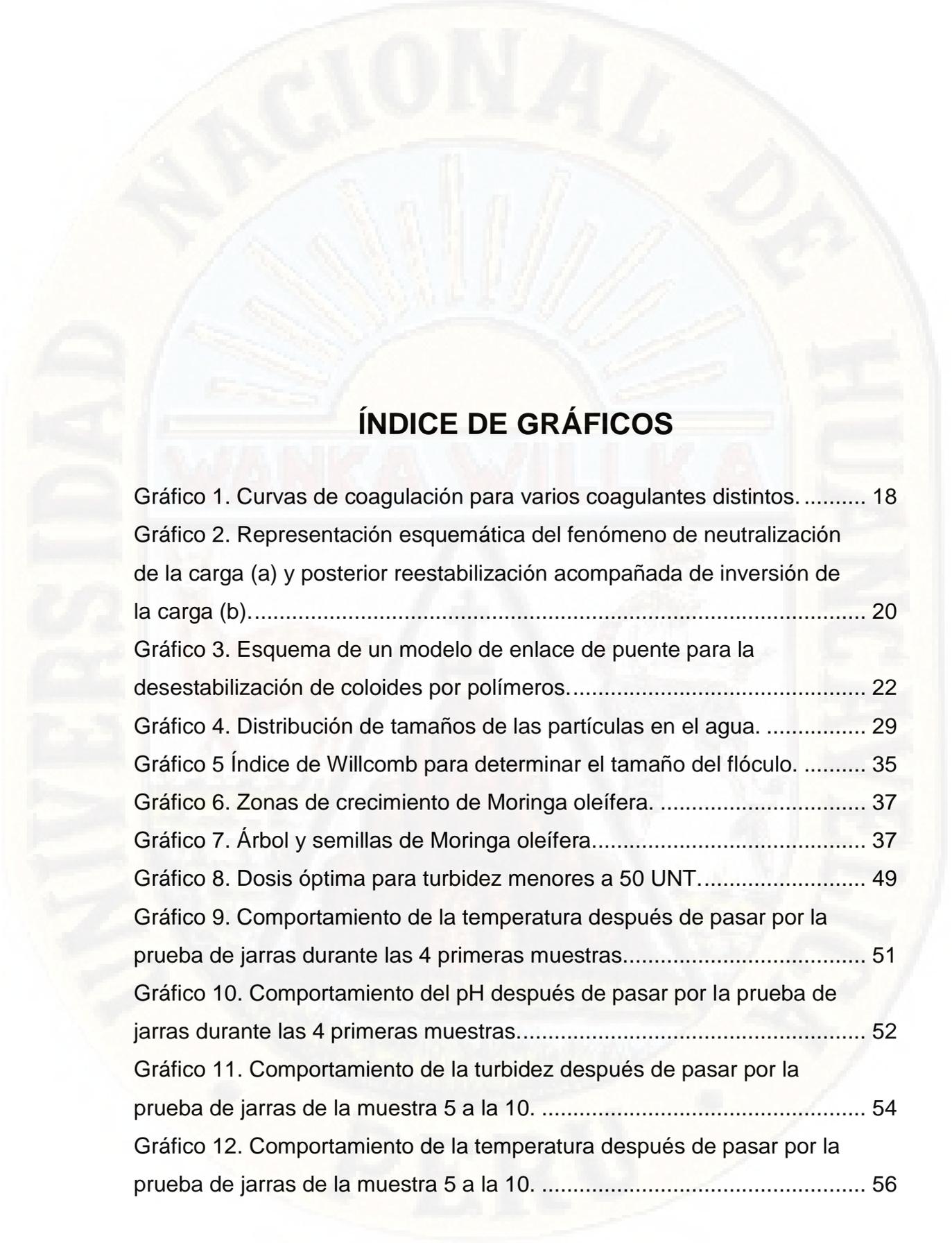
## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fechas de muestreo .....	6
Tabla 2 Tasa de sedimentación para algunas partículas.....	27
Tabla 3 Definición operativa de variables .....	42
Tabla 4 Procedimiento en la prueba de jarras .....	48
Tabla 5 Parámetros iniciales.....	49
Tabla 6 Resultado de la turbidez realizadas durante las 4 primeras semanas con concentración al 2% .....	49
Tabla 7 Datos iniciales de temperatura de las 4 primeras muestras.....	50
Tabla 8 Resultado de temperatura de las 4 primeras muestras.....	50
Tabla 9 Datos iniciales de pH de las 4 primeras muestras .....	51
Tabla 10 Resultado de pH de las 4 primeras muestras .....	52
Tabla 11 Procedimiento en la prueba de jarras .....	53
Tabla 12 Parámetros iniciales de turbiedad.....	53
Tabla 13 Resultado de la turbidez realizadas de la quinta a la décima muestra con concentración al 2%.....	53
Tabla 14 Procedimiento de la prueba de jarras .....	55
Tabla 15 Datos iniciales de temperatura de la muestra 5 a la 10 .....	55
Tabla 16 Resultado de Temperatura de la muestra 5 a la 10 .....	55
Tabla 17 Datos iniciales de pH .....	57

Tabla 18 Resultado del comportamiento del pH de la muestra 5 a la muestra 10 .....	57
Tabla 19 Proceso de la prueba de jarras .....	58
Tabla 20 Datos iniciales de turbiedad .....	59
Tabla 21 Resultados de la turbiedad aplicando distintas concentraciones ..	59
Tabla 22 Proceso de prueba de jarras .....	61
Tabla 23 Datos iniciales de la muestra .....	62
Tabla 24 Resultados de la temperatura después de aplicar moringa oleifera .....	62
Tabla 25 Proceso de la prueba de jarras .....	64
Tabla 26 Datos iniciales de pH .....	65
Tabla 27 Resultados del comportamiento del pH adicionando moringa oleifera .....	65
Tabla 28 Prueba de normalidad de muestras con turbiedades menores a 150 UNT .....	68
Tabla 29 Resultado de las concentraciones óptimas .....	68
Tabla 30 Prueba de normalidad de muestras con turbiedades menores a 150 UNT .....	69
Tabla 31 Análisis de la Varianza de la Regresión de concentraciones óptimas para turbiedades hasta 150 UNT .....	69
Tabla 32 Prueba de normalidad de muestras con turbiedades menores a 50 UNT .....	73
Tabla 33 Resultados de las dosis óptimas para turbiedades menores a 50 UNT .....	73
Tabla 34 Análisis de la varianza de la regresión de dosis óptimas para turbiedades menores a 50 UNT .....	74
Tabla 35 Prueba de normalidad de muestras con turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT .....	75
Tabla 36 Resultados de las dosis óptimas para turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT .....	75
Tabla 37 Análisis de la varianza de la regresión de dosis óptimas para turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT .....	75

Tabla 38 Prueba de normalidad de muestras con turbiedades menores a 150 UNT .....	76
Tabla 39 Resultado de las concentraciones óptimas.....	76
Tabla 40 Análisis de la varianza de la regresión de dosis óptimas para turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT .....	77
Tabla 41 Matriz de consistencia.....	89

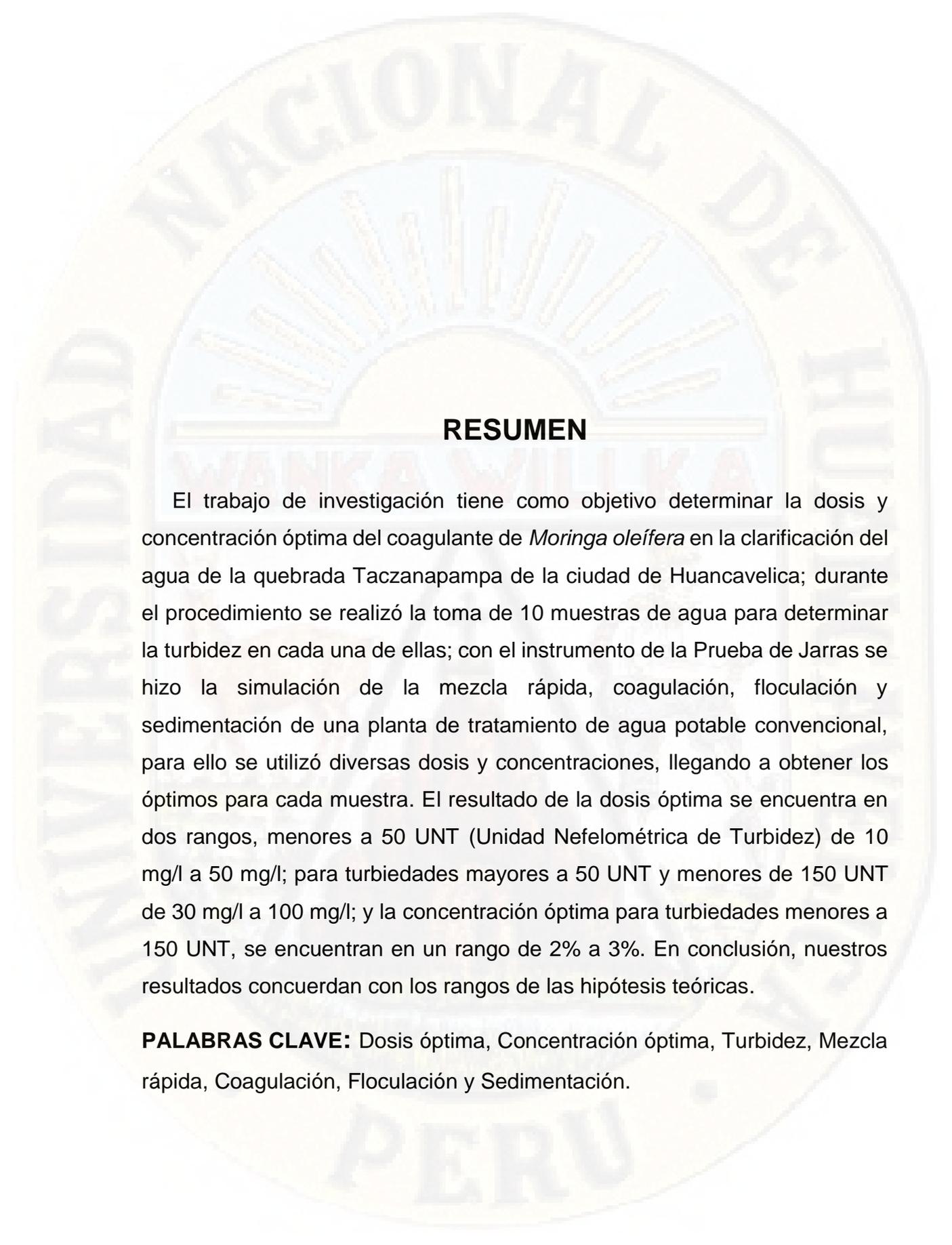




## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curvas de coagulación para varios coagulantes distintos. ....	18
Gráfico 2. Representación esquemática del fenómeno de neutralización de la carga (a) y posterior reestabilización acompañada de inversión de la carga (b).....	20
Gráfico 3. Esquema de un modelo de enlace de puente para la desestabilización de coloides por polímeros.....	22
Gráfico 4. Distribución de tamaños de las partículas en el agua. ....	29
Gráfico 5 Índice de Willcomb para determinar el tamaño del flóculo. ....	35
Gráfico 6. Zonas de crecimiento de Moringa oleífera. ....	37
Gráfico 7. Árbol y semillas de Moringa oleífera.....	37
Gráfico 8. Dosis óptima para turbidez menores a 50 UNT.....	49
Gráfico 9. Comportamiento de la temperatura después de pasar por la prueba de jarras durante las 4 primeras muestras.....	51
Gráfico 10. Comportamiento del pH después de pasar por la prueba de jarras durante las 4 primeras muestras.....	52
Gráfico 11. Comportamiento de la turbidez después de pasar por la prueba de jarras de la muestra 5 a la 10. ....	54
Gráfico 12. Comportamiento de la temperatura después de pasar por la prueba de jarras de la muestra 5 a la 10. ....	56

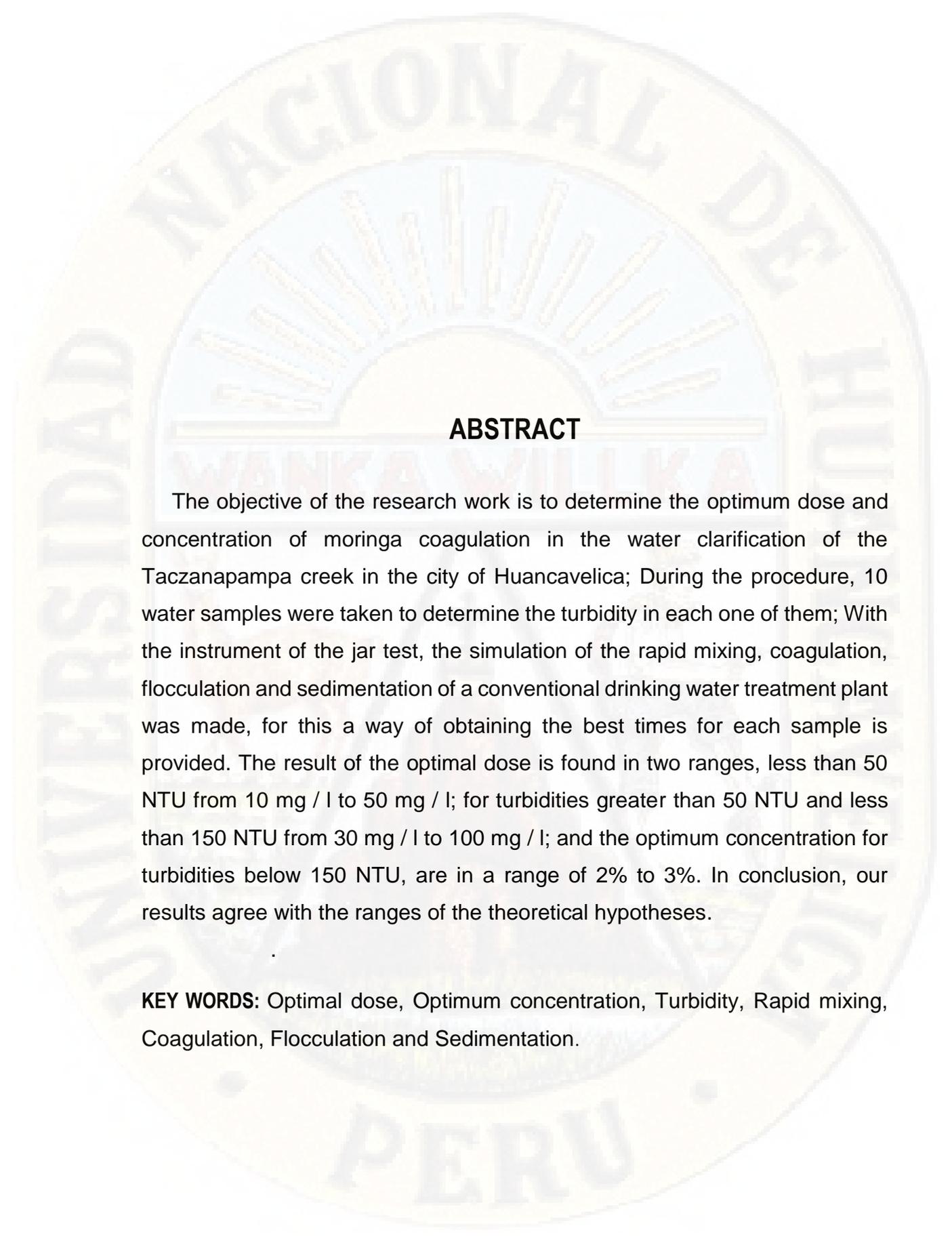
Gráfico 13. Comportamiento del pH después de pasar por la prueba de jarras de la muestra 5 a la 10.....	57
Gráfico 14. Comportamiento de la turbiedad después de pasar por la prueba de jarras.....	60
Gráfico 15. Comportamiento de la turbiedad después de pasar por la prueba de jarras.....	63
Gráfico 16. Comportamiento del pH después de pasar por la prueba de jarras.....	66
Gráfico 17. Diagrama de dispersión.....	70
Gráfico 18. Diagrama de dispersión.....	74
Gráfico 19. Diagrama de dispersión.....	76
Gráfico 20. Diagrama de dispersión.....	78

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica is a circular emblem. It features a central sun with rays, set against a light blue background. The sun is positioned above a horizontal line. The words "UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA" are written in a circular path around the sun. At the bottom of the emblem, the word "PERU" is visible. The entire logo is rendered in a light, semi-transparent yellow color.

## RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleífera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica; durante el procedimiento se realizó la toma de 10 muestras de agua para determinar la turbidez en cada una de ellas; con el instrumento de la Prueba de Jarras se hizo la simulación de la mezcla rápida, coagulación, floculación y sedimentación de una planta de tratamiento de agua potable convencional, para ello se utilizó diversas dosis y concentraciones, llegando a obtener los óptimos para cada muestra. El resultado de la dosis óptima se encuentra en dos rangos, menores a 50 UNT (Unidad Nefelométrica de Turbidez) de 10 mg/l a 50 mg/l; para turbiedades mayores a 50 UNT y menores de 150 UNT de 30 mg/l a 100 mg/l; y la concentración óptima para turbiedades menores a 150 UNT, se encuentran en un rango de 2% a 3%. En conclusión, nuestros resultados concuerdan con los rangos de las hipótesis teóricas.

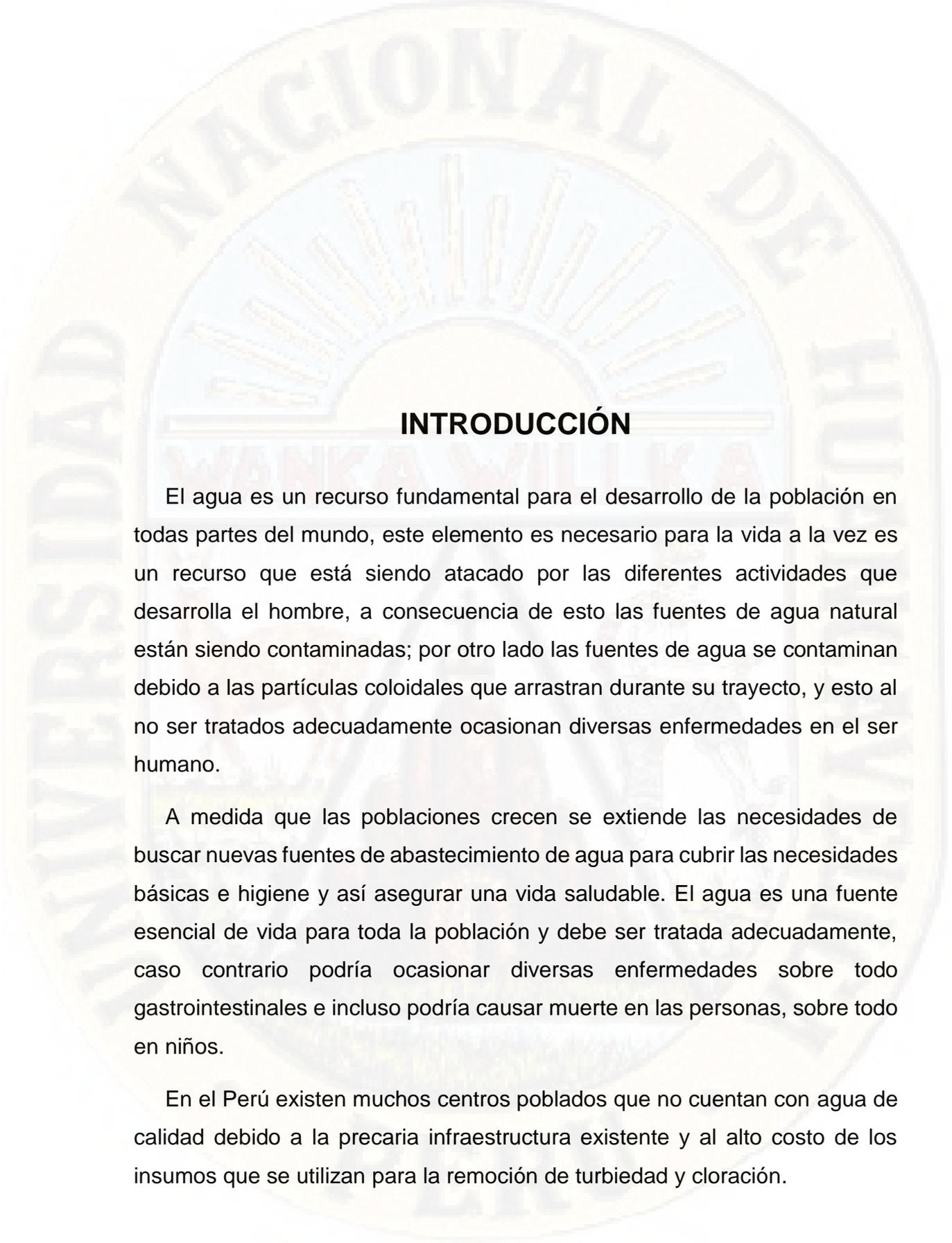
**PALABRAS CLAVE:** Dosis óptima, Concentración óptima, Turbidez, Mezcla rápida, Coagulación, Floculación y Sedimentación.



## ABSTRACT

The objective of the research work is to determine the optimum dose and concentration of moringa coagulation in the water clarification of the Taczanapampa creek in the city of Huancavelica; During the procedure, 10 water samples were taken to determine the turbidity in each one of them; With the instrument of the jar test, the simulation of the rapid mixing, coagulation, flocculation and sedimentation of a conventional drinking water treatment plant was made, for this a way of obtaining the best times for each sample is provided. The result of the optimal dose is found in two ranges, less than 50 NTU from 10 mg / l to 50 mg / l; for turbidities greater than 50 NTU and less than 150 NTU from 30 mg / l to 100 mg / l; and the optimum concentration for turbidities below 150 NTU, are in a range of 2% to 3%. In conclusion, our results agree with the ranges of the theoretical hypotheses.

**KEY WORDS:** Optimal dose, Optimum concentration, Turbidity, Rapid mixing, Coagulation, Flocculation and Sedimentation.



## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de la población en todas partes del mundo, este elemento es necesario para la vida a la vez es un recurso que está siendo atacado por las diferentes actividades que desarrolla el hombre, a consecuencia de esto las fuentes de agua natural están siendo contaminadas; por otro lado las fuentes de agua se contaminan debido a las partículas coloidales que arrastran durante su trayecto, y esto al no ser tratados adecuadamente ocasionan diversas enfermedades en el ser humano.

A medida que las poblaciones crecen se extiende las necesidades de buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua para cubrir las necesidades básicas e higiene y así asegurar una vida saludable. El agua es una fuente esencial de vida para toda la población y debe ser tratada adecuadamente, caso contrario podría ocasionar diversas enfermedades sobre todo gastrointestinales e incluso podría causar muerte en las personas, sobre todo en niños.

En el Perú existen muchos centros poblados que no cuentan con agua de calidad debido a la precaria infraestructura existente y al alto costo de los insumos que se utilizan para la remoción de turbiedad y cloración.

Los procesos para el tratamiento del agua dependerán de las fuentes de abastecimiento, siendo físicos químicos y/o biológicos, dependiendo del grado de contaminación del agua, las cuales al final tendrán que cumplir con los estándares de calidad de agua para consumo humano.

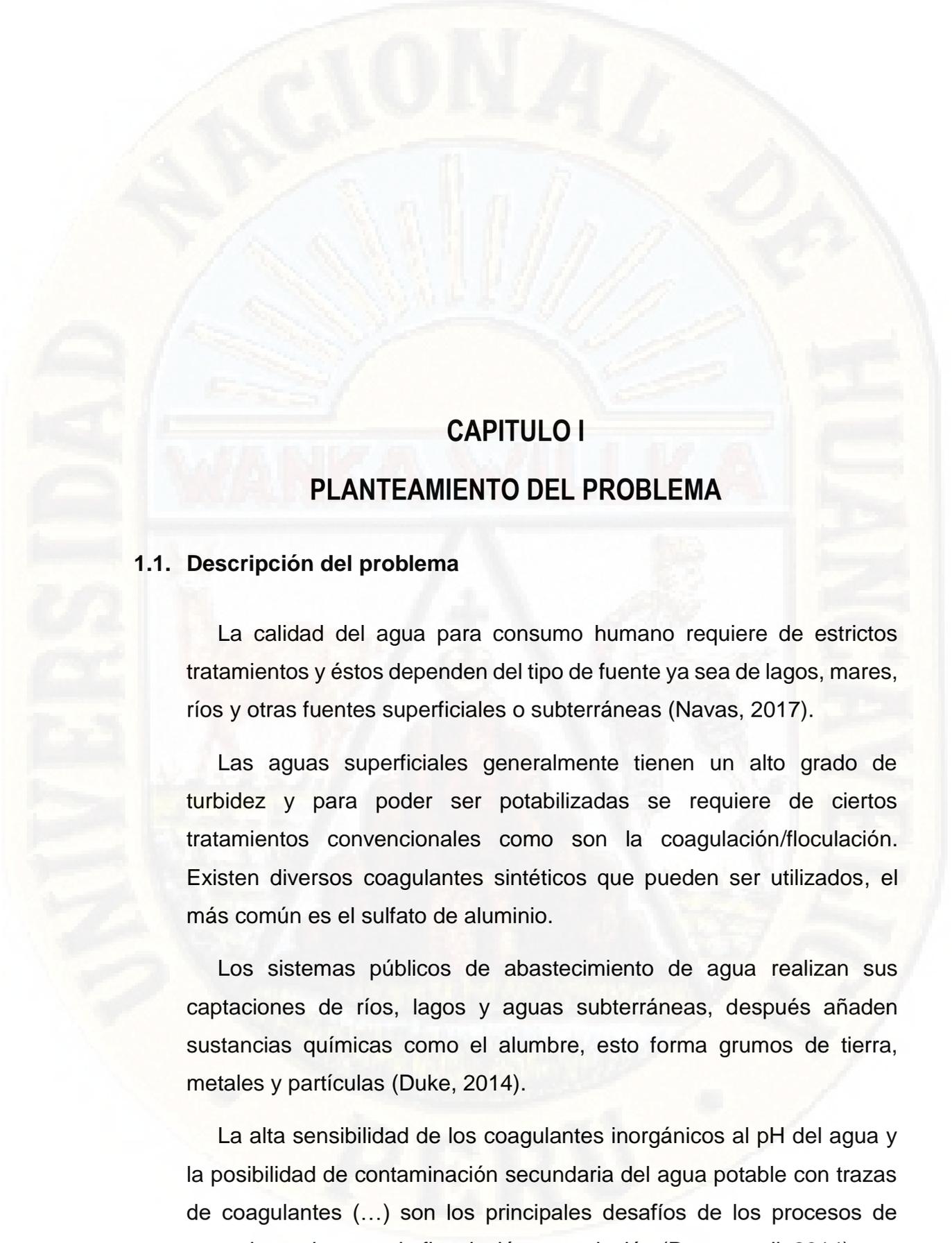
Durante el proceso de clarificación para la eliminación de partículas presentes en el agua se utiliza generalmente un producto químico que se encargará de desestabilizarlos mediante un proceso llamado coagulación, posteriormente empezará la floculación con la aglomeración de partículas después sigue el proceso de sedimentación, para luego ser clorado y llegar sin problemas a los grifos de las viviendas.

El insumo más utilizado para este proceso es el sulfato de aluminio, aunque existen diversos autores que mencionan que este producto al ser ingerido en grandes cantidades ocasionaría enfermedades como el Alzheimer, y también durante el proceso de sedimentación los lodos generan un problema ambiental y es por esta razón que proponemos el uso de un coagulante natural (Del Valle, 2017).

La *Moringa oleifera* es un coagulante natural efectivo durante la remoción de la turbiedad según diversos estudios realizados en distintas ciudades, por ello se utilizó este insumo para determinar la dosis y concentración.

El trabajo de investigación está conformado por cuatro capítulos, en el capítulo I se delimita el problema de estudio, formulación de problema, objetivos del problema y justificación. En el capítulo II se desarrolló los antecedentes, bases teóricas, hipótesis y definición operativa de variables. En el capítulo III se desarrolló la metodología de investigación. En el capítulo IV se desarrolló los resultados, análisis de datos, conclusiones y recomendaciones.

Los Autores



# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

La calidad del agua para consumo humano requiere de estrictos tratamientos y éstos dependen del tipo de fuente ya sea de lagos, mares, ríos y otras fuentes superficiales o subterráneas (Navas, 2017).

Las aguas superficiales generalmente tienen un alto grado de turbidez y para poder ser potabilizadas se requiere de ciertos tratamientos convencionales como son la coagulación/floculación. Existen diversos coagulantes sintéticos que pueden ser utilizados, el más común es el sulfato de aluminio.

Los sistemas públicos de abastecimiento de agua realizan sus captaciones de ríos, lagos y aguas subterráneas, después añaden sustancias químicas como el alumbre, esto forma grumos de tierra, metales y partículas (Duke, 2014).

La alta sensibilidad de los coagulantes inorgánicos al pH del agua y la posibilidad de contaminación secundaria del agua potable con trazas de coagulantes (...) son los principales desafíos de los procesos de tratamiento de agua de floculación-coagulación (Ramavandi, 2014).

Sin embargo, estudios recientes han señalado varios inconvenientes graves del uso de sales de aluminio, como la enfermedad de Alzheimer y problemas similares relacionados con la salud asociados con el aluminio residual en aguas tratadas (Ndabigengesere & Narasiah, 1997). Además, muchos investigadores han relacionado la enfermedad de Alzheimer con los aluminios residuales en las aguas tratadas (Ramavandi, 2014).

Debido a las posibles alteraciones que pueda llevar el consumo de las sales de aluminio hacia la salud, se abre la posibilidad de estudiar agentes naturales que puedan tener efectos de coagulación en el tratamiento del agua; además teniendo en cuenta el crecimiento poblacional es necesario buscar nuevas fuentes para el abastecimiento.

Los dos agentes naturales más estudiados y utilizados a nivel mundial y que presentan gran capacidad en los procesos de coagulación del agua son la *Moringa oleifera* y diferentes tipos de cactus; siendo una alternativa ambientalmente sostenible para poblaciones que no puedan acceder al agua debido a su situación socioeconómica (Díaz, 2014).

Con la ventaja de que no altera las propiedades del agua tratada, se recomienda su uso en poblaciones rurales como un sustituto eficaz, sin riesgos para la salud de la población consumidora (Olson & Fahel, 2011). Por lo tanto, nuestro trabajo de investigación ha sido determinar la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua del río Taczanapampa ya que ésta es una fuente de abastecimiento para la ciudad universitaria Paturpampa Huancavelica.

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema general

¿Cuál es la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica?

### 1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la dosis óptima para turbiedades menores a 50 UNT del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica?
- b) ¿Cuál es la dosis óptima para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica?
- c) ¿Cuál es la concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Determinar la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- a) Identificar la dosis óptima para turbiedades hasta 50 UNT del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.
- b) Identificar la dosis óptima para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.
- c) Identificar la concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

### 1.4. Justificación

Debido al crecimiento poblacional el consumo de agua potable de calidad necesita tratamientos eficientes, principalmente para la remoción de la turbidez, en el proceso de coagulación/floculación.

La turbidez y el color en el agua fueron las razones de los primeros tratamientos del agua para el consumo, porque muchas fuentes naturales contenían partículas que eran de aspecto y sabor cuestionables (Maldonado, 2018).

Métodos tradicionales en el tratamiento de aguas para el consumo humano utilizan sustancias químicas, algunas de las cuales se sospecha que puedan causar graves enfermedades tal es el caso de aluminio, que se dice que es muy probable que cause el Alzheimer (Marín, 2003).

La evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas es de gran importancia en el campo de la ingeniería ambiental y sanitaria. Encontrar sustancias en la naturaleza que provean remociones similares a las sales metálicas (Cerón & Nadine, 2015).

Por otro lado, el uso de biopolímeros al ser sustancias orgánicas no incrementa la toxicidad de lodos, generados por el asentamiento de los sólidos suspendidos como si sucede con los lodos formados mediante la sedimentación con la aplicación de sales de aluminio y de hierro, entre otras (Del Valle, 2017).

Las plantas de tratamiento de agua potable, en la actualidad dentro del proceso de remoción de turbiedad utilizan como coagulante el Sulfato de Aluminio como insumo primario, en el Perú no se conoce aún un tratamiento natural a gran escala en este proceso; por lo tanto, en este trabajo de investigación se hace la propuesta de utilizar la *Moringa oleifera* como un tratamiento natural en la remoción de la turbiedad.

Esta investigación tiene como finalidad obtener los rangos de las dosis y concentraciones óptimas de un coagulante natural que muestra eficiencias de remoción y posteriormente puedan sustituir a sustancias químicas.

### **1.5. Limitaciones**

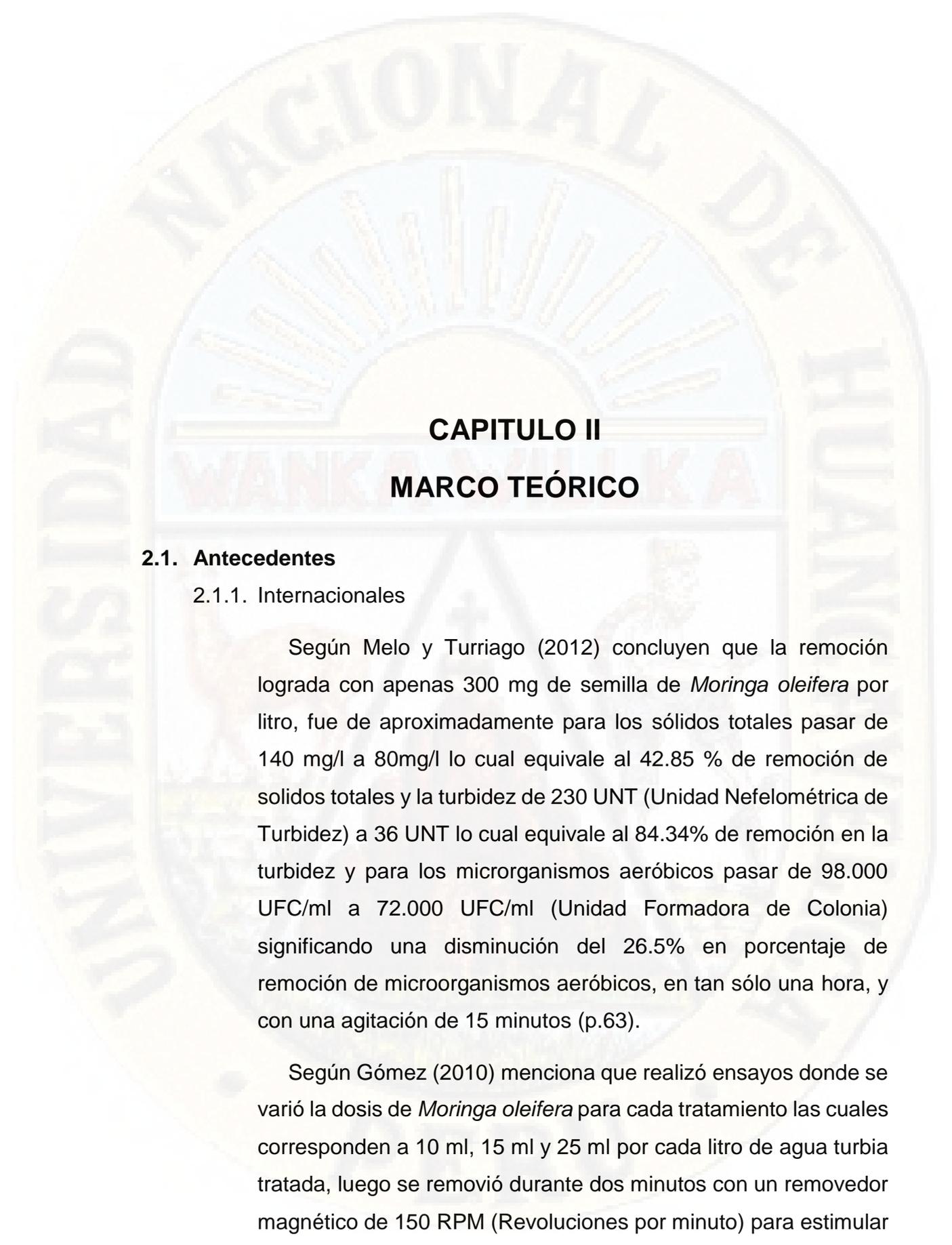
Durante la ejecución de la tesis, se tuvo limitaciones en cuanto al acceso a los equipos de laboratorio para poder realizar los estudios de cada muestra y así determinar los resultados. La Universidad Nacional de Huancavelica no cuenta con un laboratorio especializado para la simulación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), es por ello que se solicitó a la empresa EMAPA HUANCAVELICA S.A. el

acceso a su laboratorio; y por ello nos facilitaron según el cronograma siguiente; de forma estricta sin ampliación ni postergaciones.

Tabla 1  
Fechas de muestreo

<b>MUESTRAS</b>	<b>FECHA</b>	<b>LUGAR</b>	<b>FUENTE</b>
<b>M1</b>	23/12/2017	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa
<b>M2</b>	06/01/2018	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa
<b>M3</b>	13/01/2018	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa
<b>M4</b>	20/01/2018	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa
<b>M5</b>	27/01/2018	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa
<b>M6</b>	03/02/2018	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa
<b>M7</b>	10/02/2018	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa
<b>M8</b>	17/02/2018	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa
<b>M9</b>	24/02/2018	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa
<b>M10</b>	03/03/2018	laboratorio EMAPA Huancavelica	Agua del río Taczanapampa

Fuente: Elaboración propia

The logo of the Universidad Nacional de Huancayo is a circular emblem. It features a central sun with rays, a figure of a person, and the text 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO' around the perimeter. The words 'WANKA' and 'KA' are also visible in the center.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Internacionales

Según Melo y Turriago (2012) concluyen que la remoción lograda con apenas 300 mg de semilla de *Moringa oleifera* por litro, fue de aproximadamente para los sólidos totales pasar de 140 mg/l a 80mg/l lo cual equivale al 42.85 % de remoción de solidos totales y la turbidez de 230 UNT (Unidad Nefelométrica de Turbidez) a 36 UNT lo cual equivale al 84.34% de remoción en la turbidez y para los microorganismos aeróbicos pasar de 98.000 UFC/ml a 72.000 UFC/ml (Unidad Formadora de Colonia) significando una disminución del 26.5% en porcentaje de remoción de microorganismos aeróbicos, en tan sólo una hora, y con una agitación de 15 minutos (p.63).

Según Gómez (2010) menciona que realizó ensayos donde se varió la dosis de *Moringa oleifera* para cada tratamiento las cuales corresponden a 10 ml, 15 ml y 25 ml por cada litro de agua turbia tratada, luego se removi6 durante dos minutos con un removedor magnético de 150 RPM (Revoluciones por minuto) para estimular

el componente activo. Inmediatamente se bajó la velocidad de remoción a 60 RPM durante 30 minutos para tener una distribución homogénea. Finalmente, se dejó reposar durante una hora previo a su medición. La mejor dosis para el tratamiento de agua con turbidez inicial de 97 UNT es CcNaCl- 25ml/l, con un rendimiento de 69% (p.17).

Según Rodríguez et al. (2005) concluyen que el agua utilizada presentó las siguientes características: pH: 7,3. Turbiedad: 50 NTU. Color: 70 UC. Dureza Total: 248 mg/L. Alcalinidad Total: 276 mg/L. La efectividad coagulante del extracto de *Moringa oleifera* obtenido utilizando agua como solvente alcanza valores de turbiedad de hasta 4 NTU, para dosis de 90 mg/l, este valor de turbiedad corresponde a una remoción para este parámetro de 92,00 %. El Índice de Willcombs se mantiene en 10 para dosis entre 70 – 90 mg/l, alcanzando el color del agua valores de 10 UC. Para el caso del sólido obtenido solamente se logran remociones de turbiedad de hasta 40 %, Índices de Willcombs que evidencian una pobre coagulación, manteniéndose el Color en 50 UC (p.4).

Según Lédo et al. (2009) concluye que en la curva del potencial Zeta el paso por el punto isoeléctrico y la reversión en la carga coloidal, que en términos de potencial varió entre -24.90 y +7.40mV. Se verificó la formación de copos de tamaño pequeño, casi no visibles a simple vista, menores que los observados utilizando el sulfato de aluminio. La mejor eficiencia de remoción fue observada en la dosificación de 50 mg/L, próxima al punto donde el potencial Zeta es nulo, correspondiendo a un porcentual de remoción de turbiedad del 74% (p.7).

Según Schwarz (2000) concluye que para turbiedades debajo de 50 NTU utilizando el *Moringa oleifera* el rango de dosis se encuentra entre 10 – 50 mg/l ; para turbiedades entre 50 NTU y

150 NTU el rango de dosis se encuentra entre 30 – 100 mg/l ; para turbiedades mayores de 150 NTU la dosis se encuentra en un rango de 50 – 200 mg/l (p.3).

Según Sánchez et al. (2013) mencionan que se ha reportado que las proteínas de la *Moringa oleifera* pueden presentar ventajas sobre el sulfato de aluminio, ya que estudios han demostrado que al utilizar este coagulante natural no quedan residuos tóxicos en el agua que pudieran afectar el organismo humano, pero se ha visto que, aunque no deja residuos tóxicos la potabilización del agua es más costosa debido a los materiales utilizados en el proceso. En la utilización de *Moringa oleifera* en una muestra de agua de río se obtuvo un 90% en la eliminación de sólidos con una dosis de 250mg/l de semilla (p.5).

Según Paredes (2013) concluye que el uso de la semilla como coagulante para potabilizar el agua superficial puede sustituir al sulfato de aluminio u otros químicos en comunidades rurales de países subdesarrollados. Los investigadores han constatado, mediante la recolección y el análisis de muestras provenientes de recipientes para almacenamiento de agua, tratado con semilla de *Moringa oleifera*, que esta ayuda a una mejor sedimentación. Sus hallazgos muestran que la semilla de *Moringa oleifera* triturada, es un coagulante natural, y, por tanto, podría ser una alternativa viable para reemplazar, parcial o completamente a insumos químicos utilizados en el tratamiento de aguas.

Según Asrafuzzaman y Fakhruddin (2011) mencionan que las operaciones de prueba de jarra con diferentes coagulantes se llevaron a cabo en diferentes rangos de turbidez, es decir mayor (90- 120) NTU, media (40-50) NTU, y menor (25-35) NTU de agua turbia sintética. La eficacia de los extractos de *Moringa oleifera*, *Cicer arietinum* y *Dolichos lablab* los hizo utilizar como

coagulantes naturales para la clarificación del agua. Las dosis comenzaron desde 50 mg/l hasta 100 mg/l para los seis vasos correspondientes. La turbidez se midió antes y después del tratamiento. Las Figuras 3-5 muestran los resultados de diferentes dosis de tratamiento con coagulantes en la prueba de jarra. De la figura 3, se encuentra que la turbidez del agua bruta era de 100 NTU. La turbidez se redujo a 13.1, 12.7, 10.6, 10, 9.2 y 5.9 NTU correspondientes a las dosis de 50, 60, 70, 80, 90, y 100 mg/l de *Moringa Oleifera*, respectivamente. Después de la filtración, la turbidez se redujo a 11.2, 10.9, 9.1, 8.6, 7.9 y 5 NTU, respectivamente. Para el agua de turbidez media (turbidez 48 NTU), las mismas dosis reducen la turbidez a 16.5, 16.1, 15.7, 15.1, 14.9 y 14.7 NTU, respectivamente, después de la dosificación.

Según Martín et al. (2013) menciona que, en una investigación realizada con aguas turbias del Nilo, en dos horas de tratamiento se logró hasta un 99,5 % de reducción de la turbidez y la eliminación de hasta el 99,99 % de las bacterias (p.7).

Según Ramírez y Jaramillo (2015) concluyen que el empleo de los agentes naturales para el tratamiento del agua cruda, es una técnica muy antigua, sin embargo, en las últimas décadas su estudio ha profundizado generando nuevas alternativas mediante el uso de agentes origen vegetal. Los coagulantes naturales funcionan mediante un mecanismo de adsorción seguido por la neutralización de carga. El empleo de materiales naturales puede minimizar el impacto de los coagulantes químicos, reduciendo de manera significativa los costos de tratamiento si se dispone de ellos a nivel local. Diversos estudios han demostrado que la actividad coagulante de las semillas de *Moringa oleifera* es comparable con la obtenida por el uso de sulfato de aluminio, Con la ventaja de no alterar las propiedades del agua tratada, por lo

que se recomienda su uso en poblaciones rurales como un sustituto eficaz, barato y sin riesgos para la salud para la población consumidora.

Según Feria et al. (2014) mencionan que para dosis de coagulante desengrasado al 1 %, a partir de la semilla de *Moringa oleifera* se observaron eficiencias superiores al 90 % con dosis entre 4,5 mg/L y 17,5 mg/L, para un nivel de turbiedad en el agua cruda del río Sinú mayor a 90,0 UNT y con tiempos de sedimentación de 30 minutos. Con turbiedades entre 24,0 UNT y 66,0 UNT, la eficiencia de remoción está entre el 70 % y el 85 %, para el mismo rango de dosis. Para turbiedades iniciales altas (230,0 UNT a 365,0 UNT) se observaron eficiencias entre 94,8 % y 98,4 % con dosis aplicadas entre 7,0 mg/l y 15,0 mg/l de coagulante natural. El comportamiento de remoción varió a medida que se incrementó el nivel de turbiedad en el agua cruda. Para concentraciones de turbiedad baja (menor a 60,0 UNT) el coagulante sintético presentó mayor eficiencia de remoción frente al coagulante natural, tanto desengrasado como sin desengrasar. Sin embargo, cuando la turbiedad del agua cruda fue alta (mayor a 250,0 UNT) la eficiencia de remoción de los tres coagulantes fue muy similar, logrando remover más del 94 % de la turbiedad inicial de las muestras tomadas del río Sinú (p. 7-9).

Según Tenorio et al. (2008) mencionan que la eficiencia en la coagulación de la *Moringa oleifera* en estudio es dependiente de la turbiedad inicial del agua a ser tratada. Las mejores eficiencias fueron obtenidas con aguas de turbiedad inicial mayor a 150 UNT con los diferentes tratamientos aplicados. Lo anterior comprueba resultados de otras investigaciones realizadas (Muyibi y Evison, 1994. Narasiah et al, 2002 entre otros) con respecto a la reducida eficiencia del coagulante de *Moringa oleifera* en turbiedades iniciales bajas. Las dosis con la que se obtuvo las mejores

eficiencias en la reducción de turbiedad fueron las de 0.1 y 0.2 g L-1. Con raras excepciones se obtuvieron mayores reducciones con la aplicación de 0.4 g L-1, lo que permite la recomendación de la aplicación de estas primeras dosis para aguas a ser tratadas con turbiedades entre 150 y 450 UNT. Una dosis de 0.2 g L-1 equivale al peso de una semilla con testa por cada litro de agua a ser tratada. (p.32)

Según Quiros et al. (2010) mencionan que en muestras de agua con turbidez artificial la remoción de turbidez se incrementó al aumentar la turbidez inicial al compararse la dosis mínima aplicada de *Moringa oleifera* extraída en NaCl 0,62 molar. La remoción más eficiente de la turbidez fue del 97 % cuando la turbidez inicial fue de 200 FTU (p.26).

Según Dearmas y Ramírez (2015) mencionan que la turbidez del efluente de la planta de tratamiento el Salguero varía desde 25 a 67 NTU. En el caso de *Moringa oleifera* se utilizaron dosis de 600 mg/l a 800 mg/l, obteniéndose la turbidez más baja de 6.56 NTU con una dosis de 700 mg/l (p.188).

Según Tumbaco y Acebo (2018) mencionan que se encontró que la turbidez inicial fue de 1820 NTU en la muestra de agua del río demostrando así que no estaba dentro del límite permisible. Con una concentración del 1M del NaCl en el biocoagulante se pudo inferir que la turbidez más baja se obtiene donde se aplicó la dosis de 66,7 mg/l (0.5 ml) con un porcentaje de remoción 100%. Se observó que el uso del biocoagulante de semilla de *Moringa oleifera* con más carga salina (5M de NaCl) mostró una disminución de la turbidez con dosis aumentadas pero disminuyo su porcentaje de remoción del 100% a 87,64% teniendo como 10000 mg/l (200 ml) la mejor dosis de biocoagulante, aunque se demuestra que el extracto de *Moringa oleifera* es eficaz para

aguas altamente turbias, se evidencia que no necesariamente a mayor concentración de solución salina en el biocoagulante se da un mayor nivel de remoción en la turbidez (p. 65).

Según Del Valle (2017) menciona que el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos de cada biopolímero indicaron su eficiencia que fue: en el mucílago de nopal 94%, semillas de *Moringa oleifera* 93% y los quelatos el 97%. Demostrando que el biopolímero más eficiente en remoción de sólidos suspendidos es el quelato. La dosis optima de cada biopolímero es: mucílago de nopal 12.5 g/L, en la *Moringa oleifera* y quelatos 7.5 g/l (p.64).

Según Olivero et al. (2017) menciona que el análisis de los resultados obtenidos permitió establecer que, en las condiciones manejadas durante las pruebas de jarra, la mezcla de coagulantes de *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio a 45 ppm y pH 8, alcanzó una eficiencia satisfactoria de 99.5 % en cuanto a la variable de turbidez y un 99.0 % en absorbancia. Usar una velocidad de 300 RPM favorece que el principio activo de los coagulantes esté en mayor contacto con las partículas suspendidas en el agua, mientras que a 60 RPM genera flóculos más grandes y compactos haciendo que se precipitaran al fondo del recipiente. En cuanto a los resultados de los coagulantes de manera individual, el resultado de 1.2 NTU lo arroja el sulfato de aluminio a 40.0 ppm y pH 8 con una eficiencia de 99.7 %, mientras que el resultado de la *Moringa oleifera* a 40 ppm y pH 7 fue de 39.6 NTU con 89.0 % de eficiencia. La diferencia de eficiencias entre ambas mezclas es de 10.0 %; la combinación entre los coagulantes químicos con la *Moringa oleifera* aumenta la eficiencia de los coagulantes en comparación a cuando son usados por separado, es decir, se observa un efecto sinérgico, ya que la combinación de ambos tiene en cuenta mecanismos de remoción complementarios (p.78).

Según Sandoval y Laines (2013) mencionan que, de los cuatro tratamientos, las eficiencias de remoción con *Moringa oleifera* con Sodio, *Moringa oleifera* con agua de mar y Sulfato de Aluminio, muestran valores superiores al 90%. La extracción del coagulante con agua destilada no representa un método adecuado para el tratamiento de agua superficial por su baja eficiencia de remoción (49.94% y 49.03 % para turbidez y color respectivamente). La solución de *Moringa oleifera* en agua de mar proporcionó resultados similares a la de *Moringa oleifera* con Cloruro de sodio, en la remoción de turbidez y color, este resultado preliminar, abre una alternativa para investigaciones posteriores (p.100).

Según Ceron y Garzon (2015) mencionan que cuando la turbiedad inicial del agua fue de 1.8 UNT, al usar el coagulante compuesto por sólo *Moringa oleifera* a un pH de 8.0 con una dosis de 2.0 ml, Se alcanzó la turbiedad final más baja de todos los ensayos correspondiente a 0,15 UNT con el tratamiento correspondiente al 91,48% de remoción (P.61).

Según Ospina y Ramírez (2011) mencionan que estudios de diferentes productos naturales para la coagulación, dentro de ellos está la *Moringa oleifera* de quien se midió su eficiencia a partir de la coagulación floculación y sedimentación de agua del río Combeima de la ciudad de Ibagué con turbiedades de hasta 1500 UNT hasta conseguir turbiedades inferiores a 10 UNT (p.13).

Según Jodi et al. (2012) mencionan que después de la prueba de jarras realizado la *Moringa oleifera* ha demostrado ser la más eficiente en el tratamiento de agua. la muestra de agua contiene inicialmente 632 NTU y con una dosis óptima de 120 ppm se reduce hasta 5 NTU. De igual forma se puso a observar que tuvo un efecto sobre el pH del agua cruda haciéndola ligeramente acida (p.73).

Según Arnoldsson et al. (2008) mencionan que los resultados de las dosis óptimas y la eliminación de la turbidez con *Moringa oleifera* las cuales fueron preparadas con un procedimiento estándar mencionan que para turbiedades medias y altas de agua bruta (30-100 NTU), las dosis óptimas se encuentran entre 40 y 70 mg/l, la turbidez saliente oscilo entre 1 y 1.5 NTU. Según este estudio demostró que para turbiedades altas resultaron eficiencias altas por el contrario cuando las turbiedades eran bajas se encontraron eficiencias bajas en la remoción de la turbidez. Una de las ventajas de la utilización de la *Moringa oleifera* con respecto al sulfato de aluminio es que no afecta el pH, la alcalinidad o la conductividad del agua y puede producirse a bajo precio (p.144).

Según Ridwan et al. (2011) mencionan que el agua cruda de Timah Tasoh tiene una turbiedad inicial de 21 NTU y 350 mg/l, la cual se redujo significativamente a 4.1 NTU y 109.8 mg/l con una dosis óptima de 15 mg/l de *Moringa oleifera*, la eficiencia óptima de eliminación de la turbidez fue del 80%, mientras que el porcentaje de eliminación de la dureza tiende a aumentar con una mayor dosis de *Moringa oleifera* (p.2949).

#### 2.1.2. Nacionales

Según Rivera (2012) menciona que la solución del extracto de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural primario resultó ser muy eficiente, lográndose reducir la turbiedad como se muestra a continuación: Muestra I: 30 UNT y Alcalinidad de 86 mg/l CaCO<sub>3</sub>, tasa de sedimentación óptima 17 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, Muestra II: 500 UNT y Alcalinidad de 95 mg/l CaCO<sub>3</sub>, tasa de sedimentación óptima 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, Muestra III: 110 UNT y Alcalinidad de 91mg/l CaCO<sub>3</sub>, tasa de sedimentación óptima 25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, éstas tasas permiten obtener un efluente menor a los 2

UNT según las recomendaciones establecidas por la E.P.A. y normas nacionales. Las dosis de *Moringa oleifera* no se incrementaron conforme se incrementó la turbiedad, como es el caso del sulfato de aluminio, ya que las dosis para las muestras: I (30 UNT), muestra II (500 UNT), muestra III (110 UNT), fueron: 110 mg/l, 90 mg/l y 190 mg/l respectivamente (p.182).

Según García et al. (2015) mencionan que las semillas de *Moringa oleifera* son efectivas para la acción antimicrobiana sobre los contaminantes de E. coli y enterobacterias de aguas residuales. Los resultados obtenidos muestran cambios en los parámetros de pH, turbidez, conductividad y carga microbiana. La extracción de pterigospermina y su efectividad como coagulante la convierten en una posible alternativa natural en la potabilización de las aguas, ya que garantiza no solo lograr con éxito el proceso de coagulación, sino también, la ausencia de residuos tóxicos en el agua tratada que pudieran afectar el organismo humano (p.8).

Según Samaque (2017) mencionan que en la determinación de color con el espectrofotómetro en la concentración de semilla de *Moringa oleifera* de 20 g/l: La absorbancia más alta es de 0.144 que se da con la longitud de onda de 440 nm y la absorbancia más baja es de 0.05 que se da con la longitud de onda de 740 nm. Con 30 g/l: La absorbancia más alta es de 0.149 que se da con la longitud de onda de 440 nm la absorbancia más baja es de 0.016 que se da con la longitud de onda de 740 nm. Y con 40 g/l: La absorbancia más alta es de 0.096 que se da con la longitud de onda de 560 nm la absorbancia más baja es de 0.025 que se da con la longitud de onda de 740 nm.

Según Vela (2016) menciona que en su investigación con la utilización de la *Moringa oleifera* la turbidez inicial fue de 297 NTU, se usó menos volumen de muestra (700ml) y diferentes dosis (15

ml, 18 ml, 20 ml y 25 ml), obteniéndose aguas menos turbias, en ningún momento de la investigación se observó un aumento de turbidez. Por el contrario, la mejor dosis fue de 20 ml. Los resultados dados en cuanto a porcentajes de disminución de la turbidez nos arrojan que el mejor porcentaje es 93,10% a una dosis 3 y velocidad 2 y el menor es de 69,16% a una dosis 1 y velocidad 1 para la disminución, los porcentajes varían entre esos resultados (p.34).

### 2.1.3. Locales

No se encontraron antecedentes en la localidad sobre el tema de investigación.

## 2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación

### 2.2.1. Teoría de la coagulación

Existen cuatro mecanismos diferentes de desestabilización:

- Compresión de la doble capa

Las interacciones de algunas especies de coagulante con una partícula coloidal son puramente electrostáticas; los iones de carga similar a la carga primaria del coloide son repelidos y los contraiones son atraídos. Las otras interacciones no son significativas. Los coagulantes que actúan así reciben el nombre de electrolitos indiferentes (Aguilar, et al., 2002).

La desestabilización de un coloide por un electrolito indiferente es realizada por los contraiones y la eficacia del proceso de coagulación por estos iones aumenta mucho con la carga. Este hecho se recoge en la llamada regla de Schulze-Hardy (Aguilar, et al., 2002).

La coagulación se produce por compresión de la capa difusiva que rodea a las partículas coloidales. Concentraciones

elevadas de electrolito en la disolución dan elevadas concentraciones de contraiones en la capa difusiva. El volumen de la capa difusiva necesario para mantener la electroneutralidad baja y, por lo tanto, el espesor de la capa difusiva se reduce. El alcance de la interacción repulsiva entre partículas coloidales similares disminuye, y la barrera energética de activación puede desaparecer (Aguilar, et al., 2002).

Este modelo de desestabilización tiene el inconveniente de que no tiene en cuenta fenómenos que ocurren en la mayoría de sistemas naturales, como por ejemplo los efectos de hidratación, y que influyen en el proceso de coagulación. Por ello, para comprender este proceso en la mayoría de los sistemas naturales, es necesario considerar otros modos de desestabilización (Aguilar, et al., 2002).

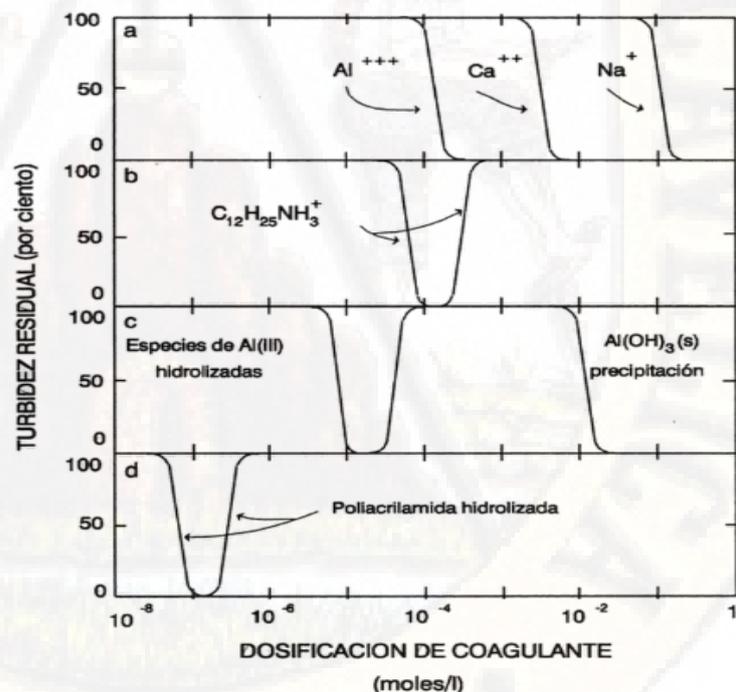


Gráfico 1. Curvas de coagulación para varios coagulantes distintos.  
Fuente: Aguilar et al. (2012)

- Adsorción para producir la neutralización de la carga.

La capacidad de una especie coagulante para desestabilizar una dispersión coloidal es realmente una mezcla de interacciones coagulante – coloide, coagulante – disolvente y coloide – disolvente. Según el tipo de magnitud de estas interacciones, la capacidad de un coagulante para ocasionar la desestabilización de una dispersión coloidal puede ser muy diferente de la sugerida por el modelo anterior.

Los iones dodecilamonio tienen una carga de +1 y deberían de exhibir una capacidad para la coagulación similar a la producida por el ion  $\text{Na}^+$  (Aguilar, et al., 2002).

Sin embargo, al comparar ambos iones se observan dos importantes diferencias:

- a) Los iones  $\text{Na}^+$  son eficaces para la coagulación en concentraciones superiores a  $10^{-1}$  mol/l aproximadamente. En contraste, la amina orgánica cargada produce la desestabilización a concentraciones mucho más bajas, tales como  $6 \cdot 10^{-5}$  mol/l.
- b) No es posible reestabilizar una dispersión coloidal con  $\text{Na}^+$  por sobredosificación, mientras que con  $\text{C}_{12} \text{H}_{25} \text{NH}_3^+$ , ocurre la reestabilización para dosificaciones de coagulantes superiores a  $4 \cdot 10^{-4}$  mol/l aproximadamente.

Esta reestabilización viene acompañada por una inversión de carga; esto es, la carga neta de la partícula coloidal se invierte de negativa a positiva por la adsorción de un exceso de contraiones. Si las interacciones colombianas fueran la única fuerza impulsora de la desestabilización, una adsorción tal de un exceso de contraiones para producir la inversión de carga y la reestabilización no sería posible (Aguilar, et al., 2002).

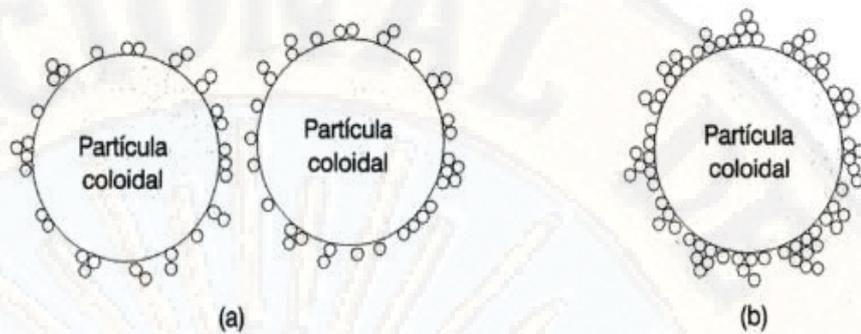


Gráfico 2. Representación esquemática del fenómeno de neutralización de la carga (a) y posterior reestabilización acompañada de inversión de la carga (b).  
Fuente: Aguilar et al. (2012)

Para el caso de desestabilización por amina orgánica parece razonable suponer que la falta de interacciones coagulante-disolvente son al menos parcialmente responsables de la adsorción de coagulante en la interfase partícula-disolución. Este tipo de coagulante constituye un material superficialmente activo, es decir, se acumula en las interfaces. De hecho, estos iones orgánicos están libres del agua debido a la falta de interacción entre las moléculas de agua y los grupos  $\text{CH}_2$  pertenecientes a la cola de estos iones (Aguilar, et al., 2002).

- Inmersión dentro de un precipitado

Cuando una sal metálica tal como  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  o un óxido metálico o hidróxido en el caso de la cal,  $\text{CaO}$  o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , se utilizan como coagulantes en concentraciones suficientemente altas para ocasionar la precipitación rápida de un hidróxido metálico o carbonato metálico las partículas coloidales pueden quedar inmersas dentro de los precipitados a medida que estos se forman (Aguilar, et al., 2002).

La velocidad de precipitación de un hidróxido depende del grado de sobresaturación de la disolución y puede describirse por la proporción:

$$[\text{Me}^{n+}][\text{OH}^-]^n / K_s$$

Donde:

( $\text{Me}^{n+}$ ) = concentración del ion metálico en disolución.

$K_s$  = producto de solubilidad del hidróxido metálico

Para una precipitación muy rápida, esta proporción debe ser de cien o aun mayor, cuando el precipitado está cargado positivamente, la velocidad de precipitación viene también incrementada por la presencia de aniones en la disolución. Los aniones sulfato son particularmente efectivos. Por otro lado, las partículas coloidales pueden servir como núcleos para la formación de precipitado, de modo que la velocidad de precipitación aumenta al incrementarse la concentración de manera coloidal que deba eliminarse. Esto puede dar lugar a una relación inversa entre la dosificación óptima de coagulante y la concentración de materia que deba eliminarse del agua. En otras palabras, cuando mayor sea la cantidad de materia coloidal, menor será la cantidad de coagulante metálico que se requiere para llevar a cabo su eliminación (Aguilar, et al., 2002).

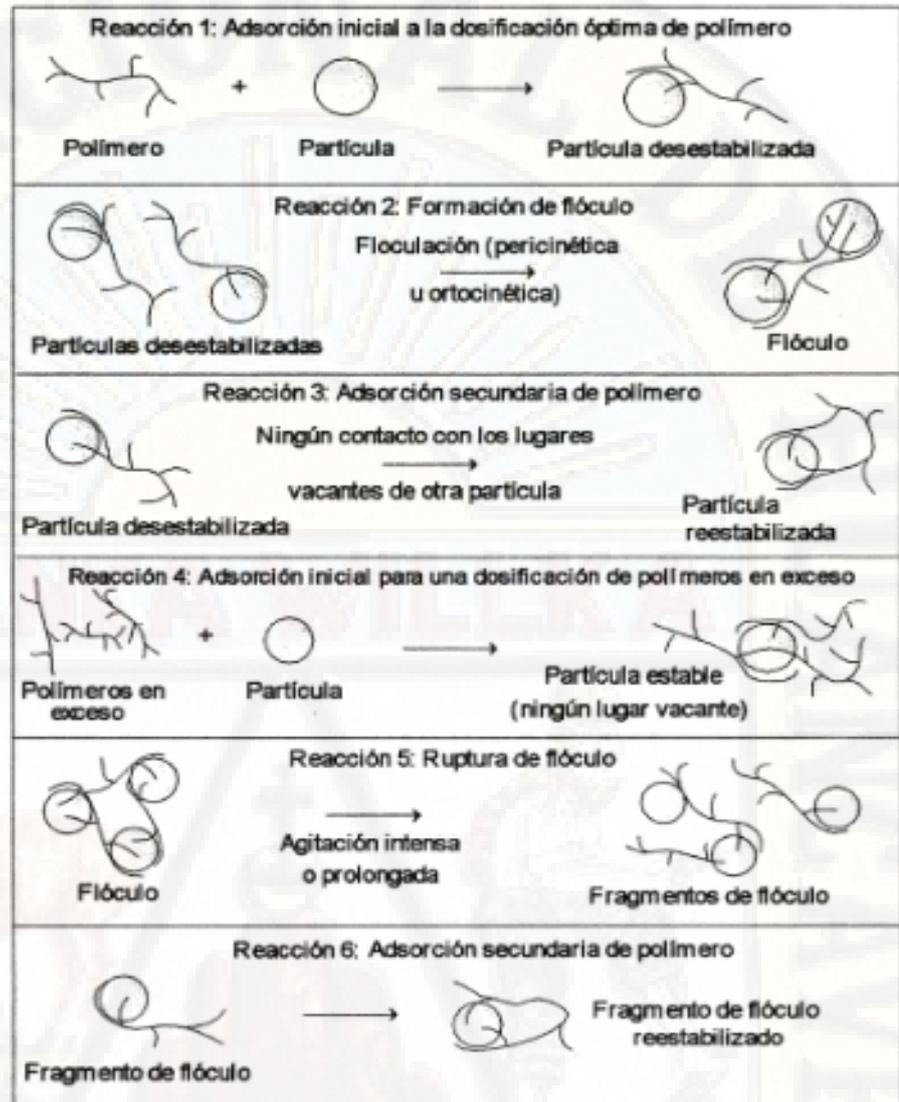


Gráfico 3. Esquema de un modelo de enlace de puente para la desestabilización de coloides por polímeros.

Fuente: Aguilar et al. (2012)

- Adsorción y enlace de puente interpartícula

Este modelo constituye el fundamento de la actuación de los polímeros orgánicos sintéticos como agentes desestabilizadores para el tratamiento del agua residual. Así, se ha observado frecuentemente, que el tratamiento más económico se obtiene con un polímero aniónico, aun cuando las partículas sólidas del agua estén cargadas negativamente. Estas observaciones no se pueden explicar por un modelo electrostático simple (Aguilar, et al., 2002).

Para una desestabilización eficaz, la molécula de polímero debe tener grupos químicos que puedan interactuar con los lugares de la superficie de la partícula coloidal. Cuando una molécula polimérica se pone en contacto con una partícula coloidal algunos de estos grupos se adsorben en la superficie de la partícula dejando el resto de la molécula prolongada hacia la disolución (Aguilar, et al., 2002).

Si una segunda partícula con algunos lugares de adsorción vacantes se pone en contacto con estos segmentos prolongados puede ocurrir una fijación. De este modo, se forma un complejo partícula-polímero-partícula en el cual el polímero sirve de puente.

Puede ocurrir con el tiempo que los segmentos prolongados se adsorban eventualmente en otros lugares de la partícula original, de tal forma que en el polímero ya no es capaz de servir de puente.

Las dosificaciones de polímero suficientemente grandes como para saturar las superficies coloidales producen un coloide reestabilizado, ya que no se dispone de lugares para la formación de puente entre partículas (Aguilar, et al., 2002).

Bajo ciertas condiciones un sistema que ha sido desestabilizado y agregado puede ser reestabilizado por agitación extendida, debido a la rotura de los enlaces polímero-superficie y posterior repliegue de los segmentos prolongados sobre la superficie de las partículas (Aguilar, et al., 2002).

## **2.3. Bases conceptuales**

### **2.2.1 El Agua**

El agua está conformada principalmente por moles de átomos de hidrogeno y oxígeno en una relación de 2:1 ( $H_2O$ ), esta no se encuentra en estado puro en la naturaleza debido a que existen diversos factores que cambian su composición y

alteran constantemente su calidad. Factores de origen natural y antropogénico que inciden directamente en sus propiedades (Romero, 2005). La turbiedad es una de estas y es el principal indicador en el desarrollo de este trabajo; esta se define como la propiedad óptica que tiene una sustancia líquida, de dispersión en todas las direcciones la luz que pasa por ella (Romero, 2005).

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Esta influencia no sólo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como la molécula bipolar sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella.

Se considera que el agua es un solvente universal, debido a que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que entra en contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles o insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso (Rivera, 2012).

### 2.2.2 Características del agua

El agua contiene diversas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. Desde el momento que se condensa en forma de lluvia, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo (Orellana, 2005).

- ❖ Características físicas: En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y la turbidez

del agua que se brinda, en parte porque dan mal sabor, pero también a causa de su uso en la elaboración de bebidas, preparación de alimentos y fabricación de textiles.

- Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición.
  - El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias.
  - La turbidez además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión. El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 unidades de turbidez), se aprecia a simple vista. Las fuentes de agua superficial varían desde 10 hasta 1.000 unidades de turbidez, y los ríos muy opacos pueden llegar a 10.000 unidades.
- ❖ Características químicas: Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración. Por ejemplo, el hierro y el manganeso en pequeñas cantidades no solo causan color, también se oxidan para formar depósitos de hidróxido férrico y óxido de manganeso dentro de las tuberías de agua. Las aguas duras son aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y también forma incrustaciones en tuberías de agua caliente y calderas. La dureza del agua se expresa en miligramos equivalentes de carbonato de calcio por litro.
- ❖ Características biológicas: Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde

los microorganismos hasta los peces. El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia. La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando de las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica. De la misma manera los crustáceos se incrementan y por lo tanto los peces de idéntica manera.

Del reino vegetal, los microorganismos más importantes desde el punto de vista de la Ingeniería Sanitaria son las algas y bacterias, aunque la presencia de hongos, mohos y levaduras es un índice de la existencia de materia orgánica en descomposición.

### 2.2.3 Calidad del agua

La calidad del agua definida por los valores guía es tal que resulta adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluyendo la higiene personal (Organización Panamericana de la Salud, 1988).

La calidad del agua puede definirse como la condición inicial en la que se encuentre el agua, esto dependerá de diversos factores que alteren su condición como las partículas, coloides entre otros los cuales puedan afectar el uso que se le pretenda dar.

El agua en su estado natural puede contener dos tipos de sólidos (sedimentables y no sedimentables), se diferencian básicamente por el tamaño de partícula el cual es directamente proporcional al tiempo de sedimentación, las arcillas son un ejemplo de partículas no sedimentables; estas no son más que tierra fina con un diámetro igual o menor a 0.002 mm y aportan la mayor parte de la turbiedad al agua, la coagulación es el mecanismo por el cual se remueven las partículas no sedimentables que se encuentran suspendidas en el agua (Romero, 1996).

Tabla 2  
Tasa de sedimentación para algunas partículas

TASAS DE SEDIMENTACIÓN PARA ALGUNAS PARTÍCULAS		
Diámetro partícula, mm	Partícula Representativa	Tiempo requerido para una profundidad de asentamiento de 0.3 m
Partículas SEDIMENTABLES		
<b>10</b>	Grava	0.3 s
<b>1</b>	Arena Gruesa	3 s
<b>0.1</b>	Arena Fina	38 s
<b>0.01</b>	Limo	33 min
Partículas NO SEDIMENTABLES		
<b>0.001</b>	Bacterias	55 horas
<b>0.0001</b>	Color	230 días
<b>0.00001</b>	Coloides	6,3 años
<b>0.000001</b>	Coloides	63 años

Fuente: Romero Rojas (1996)

## 2.2.4 Procesos de remoción de la turbiedad

### A. Coagulación

#### ❖ Definición de coagulación

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se

somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible (Rodríguez C. , 1995).

Este proceso se usa para (Restrepo, 2009).

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

#### ❖ Propiedades de los coloides

Las partículas coloidales en el agua por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1.000 milimicrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad (Barrenechea, 2004).

Los coloides son suspensiones de partículas en un medio molecular, cuyas dimensiones están en el intervalo de 1 y 1000 milimicrones. Así los coloides tienen un tamaño intermedio entre las partículas en solución verdadera y las partículas en suspensión. Son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural (Ojeda, 2012).

Los sistemas coloidales se pueden dividir principalmente en: moleculares y no moleculares, hidrofílicos e hidrofóbicos, diuturnos y caducos, orgánicos e inorgánicos. Pero para el tratamiento de agua los más importante son: los coloides hidrofílicos, es decir que muestran gran atracción por el agua, y los hidrofóbicos, que muestran una atracción menor. Ellos adsorben una película de agua en su superficie, haciendo muy importantes las propiedades de las superficies de las partículas en estos sistemas coloidales hidrófobos (Ojeda, 2012).

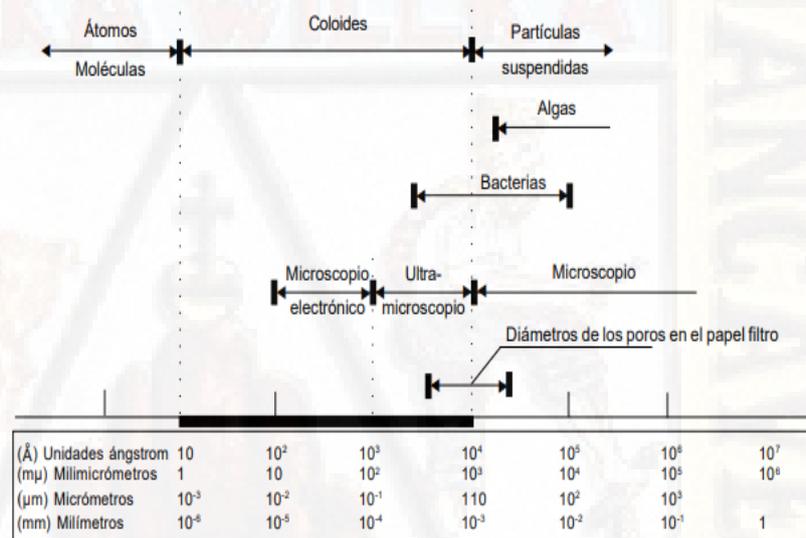


Gráfico 4. Distribución de tamaños de las partículas en el agua.  
Fuente: CEPIS – Ada Barrenechea (2002)

## B. Floculación

### ❖ Definición de floculación

La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico –flóculos (Rodríguez, 1995).

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia (Vargas, 2004).

#### ❖ Cinética de la floculación

Tan pronto como se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se inician una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar flóculos que crecen con el tiempo (Restrepo, 2009).

La rapidez con que esto ocurre depende del tamaño de las partículas con relación al estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su “grado de desestabilización”, que es el que permite que las colisiones sean efectivas para producir adherencia (Restrepo, 2009).

Los contactos pueden realizarse por dos modos distintos (Restrepo, 2009):

- Floculación Pericinética: Contactos por bombardeo de las partículas producidos por el movimiento de las moléculas del líquido (movimiento browniano) que sólo influye en partículas de tamaños menores a un micrón. Sólo actúa al comienzo del proceso, en los primeros 6 a 10 s y es independiente del tamaño de la partícula.

- Floculación Ortocinética: Contactos por turbulencia del líquido, esta turbulencia causa el movimiento de las partículas a diferentes velocidades y direcciones, lo cual aumenta notablemente la probabilidad de colisión. Efectivo sólo con partículas mayores a un micrón. Actúa durante el resto del proceso, de 20 a 30 minutos.

❖ Factores que influyen en la floculación

- Concentración y naturaleza de las partículas

La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas (Restrepo, 2009).

Existe mucha especulación respecto a la influencia de la concentración de solución de coagulante en la eficiencia del proceso de tratamiento; incluso se ha sugerido limitar la concentración mínima a valores del orden de 0,5% en las estaciones de tratamiento. Pero tal sugerencia contradice el procedimiento usual en la realización de ensayos de laboratorio que generalmente usan la solución de coagulante con una concentración de 0,1 y 0,2%, dependiendo del volumen de los frascos de los equipamientos de floculación (1 o 2 litros) y de las dosis previstas para los ensayos (Vargas, 2004).

- Tiempo de detención

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo

más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades (Restrepo, 2009).

- Gradiente de velocidad

Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados (Restrepo, 2009).

- La calidad del agua cruda

Las características del agua cruda que más influyen en la eficiencia de proceso son la concentración de coloides (medida normalmente mediante la cantidad de turbiedad o color presente en el agua), la alcalinidad y el pH, el tamaño de las partículas y la temperatura (Vargas, 2004).

- Temperatura

Es importante en zonas de climas muy marcados principalmente cuando se alcanzan temperaturas de congelación. Cahill y Fitz Patrick analizaron la influencia de este factor en un grupo de plantas de Chicago y establecieron dos regiones de variaciones muy marcadas, una entre 0 y 10°C y la segunda entre 10 y 40°C (Vargas, 2004).

- Variables Químicas

- Dosis óptima
- Concentración óptima

- ❖ Sedimentación

- Definición de sedimentación

Definimos como "sedimentación" al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad (Pérez, 2005).

Definimos como "sedimentación" al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad (Maldonado, 2004).

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior (Maldonado, 2004).

- Sedimentación en diferente forma

- Sedimentación de partículas discretas

Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída.

Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta (Maldonado, 2004).

- Sedimentación de partículas floculentas

Son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes

químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas, forma, tamaño, densidad sí cambian durante la caída. Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida (Maldonado, 2004).

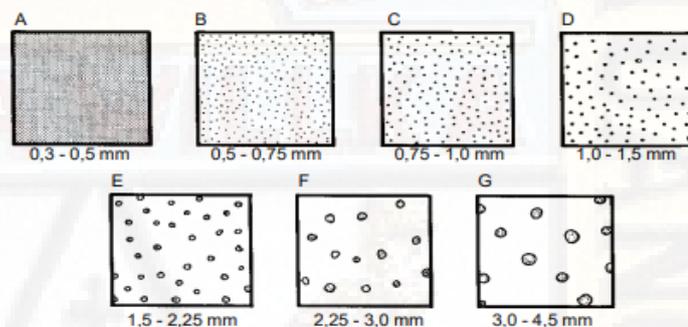


Gráfico 5 Índice de Willcomb para determinar el tamaño del floculo.  
Fuente: Maldonado (2004)

#### - Sedimentación por caída libre e interferida

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal. Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión.

Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos (Maldonado, 2004).

#### 2.2.5 Coagulante natural para la remoción de la turbiedad

##### A. *Moringa oleifera*

*Moringa oleifera*, Pterygosperma, Gaertn (Familia - moringaceae), es un árbol pequeño o mediano, lo suficientemente atractivo como para ser un punto focal en los trópicos y subtrópicos debido a sus flores de color blanco cremoso, dulcemente perfumadas y verde claro, tripinnadas. Es un nativo de la India, se encuentra silvestre en las regiones sub-Himalaya el norte de India y se cultiva en todo el país (Tumbaco y Acebo, 2018).

Este es un árbol que soporta períodos prolongados de sequía, por lo que crece bien en todo tipo de zonas áridas o semiáridas, incluso en arena. En zonas de cultivos se utiliza como cerca viva o cortina rompevientos, también evita la erosión de suelo en zonas de con períodos fuertes de sequía y vientos fuertes. Crecen muy rápido, ya que en tan sólo un año pueden llegar a los 4 metros de altura, y ya dar frutos (Rivera, 2012).

Esta especie se ha ido introduciendo en diferentes partes del mundo sobre todo en Sur América.



Gráfico 6. Zonas de crecimiento de *Moringa oleifera*.  
Fuente: ONG Trees for life (2011)

Es un árbol deciduo de rápido crecimiento y usualmente alcanza de 10 a 12 m de alto. Se valora por sus frutas, flores, raíces (todas comestibles) y por el aceite de su semilla usado principalmente como tratamiento para purificar las aguas. “En Centroamérica se lo conoce como: Marango, Paraíso o Paraíso Blanco y se encuentra en zonas con temperaturas de 6 a 38 °C, es muy resistente al frío por corto tiempo, pero no menos de 2 a 3 °C. En temperaturas menores de 14°C no florece y sólo se puede reproducir por reproducción vegetativa (Vela, 2016).



Gráfico 7. Árbol y semillas de *Moringa oleifera*.  
Fuente: Páginas Web de Google

B. Características para su uso (Melo y Turriago, 2012):

- ❖ Las bayas o vainas, deben madurarse en el árbol y se recolectan cuando están secas.

- ❖ Las semillas deben abrirse, quitándoles la cascarita y dejando una pequeña "almendra" blanquecina, la cual debe ser finamente molida, tipo harina.
- ❖ Para tratar agua de río con turbiedad moderada, determinada por Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT) se requieren de 150 a 300 mg. de semilla molida por litro de agua turbia.
- ❖ Con agua limpia, y semillas molidas se hace una pasta, la cual se diluye en un recipiente que pueda cerrarse. Se agita muy bien por 5 minutos. Seguidamente, se filtra para eliminar las partículas más grandes y luego este filtrado se adiciona en el agua a tratar.
- ❖ Colocada la solución preparada con las semillas de *Moringa oleifera*, en el agua a tratar, se procede a agitar todo el volumen por 2 minutos y se deja en reposo aproximadamente por una hora. El agua clarificada puede hacerse pasar por un filtro de arena para completar el proceso de purificación o bien podría hacerse el control microbiológico con cloración.

### C. La *Moringa oleifera* como depurador de agua.

Las semillas son de mucha utilidad como uno de los mejores coagulantes naturales conocidos y se emplean ampliamente en la depuración y purificación de aguas fluviales y aguas turbias (Rivera, 2012).

Es significativo que muchos de los nombres comunes que recibe la *Moringa oleifera* hagan mención específica a la capacidad del mismo para purificar agua. En el valle del río Nilo, la *Moringa oleifera* es conocida como "Shagara al Rauwaq" que significa: "Árbol que purifica" (Maydell, 1986). Las semillas de la *Moringa oleifera* actúan como coagulante

natural. Este coagulante actúa capturando partículas en suspensión en el agua y provocando que estas se unan entre sí y se precipiten al fondo; el modo de empleo es artesanal, simplemente consiste en moler las semillas maduras y envolverlas en algún tipo de tejido que impida que se disgreguen al introducirlas en el agua a purificar (Melo y Turriago, 2012).

El ingrediente activo: es un poli electrolito que ha sido identificado y aislado en muchos laboratorios del mundo en donde se han realizado las pruebas usándolo como coagulante (Rivera, 2012).

#### **2.4. Definición de términos**

Absorción: Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión (Ingeniería y Gestión, 2012).

Adsorción: Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido (Ingeniería y Gestión, 2012).

Afluente: Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o el total de un proceso de tratamiento (Ingeniería y Gestión, 2012).

Coagulación: Proceso mediante el cual se desestabiliza o anula la carga eléctrica de las partículas presentes en una suspensión, mediante la acción de una sustancia coagulante para su posterior aglomeración en el floculador (Ingeniería y Gestión, 2012).

Coagulante: Un coagulante es una sustancia que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación. El coagulante es un compuesto químico que inestabiliza la materia suspendida en forma coloidal, a través de la alteración de la capa iónica cargada eléctricamente que rodea a las partículas coloidales (Vela, 2016).

Efluente: Agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento (Ingeniería y Gestión, 2012).

Floculación: Formación de partículas aglutinadas o flóculos. Proceso inmediato a la coagulación (Ingeniería y Gestión, 2012).

Floculador: Estructura diseñada para crear condiciones adecuadas para aglomerar las partículas desestabilizadas en la coagulación y obtener flóculos grandes y pesados que decanten con rapidez y que sean resistentes a los esfuerzos cortantes que se generan en el lecho filtrante (Ingeniería y Gestión, 2012).

Flóculos: Partículas desestabilizadas y aglomeradas por acción del coagulante (Ingeniería y Gestión, 2012).

Sedimentación: Proceso de remoción de partículas discretas por acción de la fuerza de gravedad (Ingeniería y Gestión, 2012).

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis general

La dosis óptima se encuentra dentro del rango de 10 a 100 mg/l y la concentración óptima de 2% a 3% del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

### 2.5.2. Hipótesis específicas

- a) La dosis óptima para turbiedades menores a 50 UNT, se encuentra dentro del rango de 10 a 50 mg/l del coagulante *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.
- b) La dosis óptima para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT, se encuentra dentro del rango de 30 a 100 mg/l del

coagulante *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

- c) La concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT, se encuentra dentro del rango de 2 a 3% del coagulante *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

## 2.6. Variables

Variable Independiente

- Clarificación del agua

Variable dependiente

- Dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleifera*

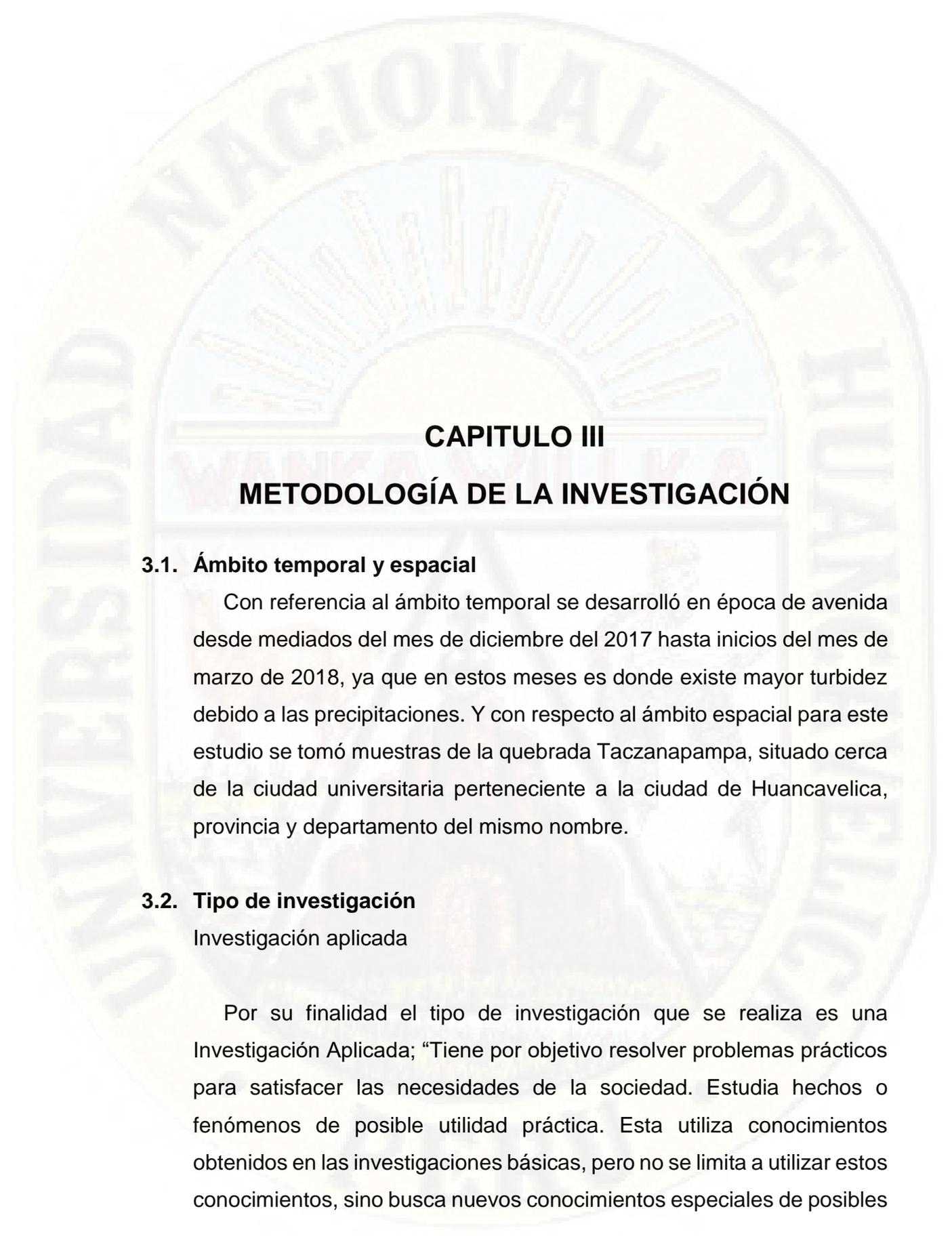
## 2.7. Operacionalización de variables

Tabla 3

Definición operativa de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO	NATURALEZA	MEDICIÓN	INDICADOR	UNIDAD
Dosis y concentración óptima del coagulante de <i>Moringa oleifera</i>	Parámetros que miden la cantidad efectiva del coagulante en el momento de la adición al agua para aglutinar las partículas suspendidas (Melo y Turriago Ríos 2012).	Cantidad efectiva de <i>Moringa oleifera</i> utilizada en el proceso de coagulación, dentro de la mezcla rápida en la prueba de jarras para determinar la turbiedad más baja, con la ayuda del multiparámetro y turbidímetro (Rivera, 2012).	DEPENDIENTE	CUANTITATIVO	DE RAZÓN O PROPORCIÓN	Dosis óptima	mg/l
						Concentración óptima	%
Clarificación de agua	Eliminación de la turbiedad en el agua natural (Melo y Turriago Ríos 2012).	Remoción de partículas coloidales presentes en el agua con la ayuda de un coagulante, durante los procesos de coagulación y sedimentación en la prueba de jarras (Rivera, 2012).	INDEPENDIENTE	CUANTITATIVO	DE RAZÓN O PROPORCIÓN	Turbiedad	UNT

Fuente: Elaboración propia



## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Ámbito temporal y espacial**

Con referencia al ámbito temporal se desarrolló en época de avenida desde mediados del mes de diciembre del 2017 hasta inicios del mes de marzo de 2018, ya que en estos meses es donde existe mayor turbidez debido a las precipitaciones. Y con respecto al ámbito espacial para este estudio se tomó muestras de la quebrada Taczanapampa, situado cerca de la ciudad universitaria perteneciente a la ciudad de Huancavelica, provincia y departamento del mismo nombre.

#### **3.2. Tipo de investigación**

Investigación aplicada

Por su finalidad el tipo de investigación que se realiza es una Investigación Aplicada; “Tiene por objetivo resolver problemas prácticos para satisfacer las necesidades de la sociedad. Estudia hechos o fenómenos de posible utilidad práctica. Esta utiliza conocimientos obtenidos en las investigaciones básicas, pero no se limita a utilizar estos conocimientos, sino busca nuevos conocimientos especiales de posibles

aplicaciones prácticas. Estudia problemas de interés social” (Gomero y Moreno, 1997).

### **3.3. Nivel de investigación**

Nivel explicativo

Los **estudios explicativos** van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández, et al., 2014).

### **3.4. Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

El agua de la quebrada Taczanapampa.

#### **Muestra**

528 litros del agua de la quebrada Taczanapampa

#### **Muestreo**

No probabilístico; la elección de los elementos no depende de la probabilidad, si no de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos de la investigación (Hernández, et al., 2014).

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas**

- Observación experimental: porque elabora datos en condiciones relativamente controladas por el investigador, particularmente porque éste puede manipular la o las variables.

### Instrumento

- Test de jarras
- Turbidímetro
- Multiparámetro

#### 3.5.1. Determinación de la dosis óptima

##### Procedimiento

- Se determinó la turbiedad, la temperatura y el pH del agua cruda con la que se va a trabajar.
- Se preparó una solución de *moringa oleifera* a la concentración de 2% y calculamos la cantidad de coagulante que se va a aplicar a cada jarra mediante la ecuación de balance de masas.

$$P = D \times Q = q \times C$$

Donde:

P = peso de coagulante por aplicar

D = dosis de coagulante en mg/l

Q = Capacidad de la jarra en litros

q = volumen de solución por aplicar (ml)

C= concentración de la solución en mg/l (2%)

- Se colocó cantidades de la solución del coagulante *Moringa oleifera* que se aplicó a las jarras en cada vaso mediante una pipeta. Seguido se succionó el contenido de cada vaso con una jeringa con la aguja puesta, extrayendo hasta la última gota.
- Se retiró la aguja y cada una de las jeringas se colocó delante de cada jarra correspondiente. Se programó el equipo de prueba de jarras programando las memorias de la siguiente manera:

Memoria 1 = tiempo: 5 segundos, velocidad = 300 rpm

Memoria 2 = tiempo: 20 minutos, velocidad = 40 rpm

- Se inició el funcionamiento del equipo, aplicando en forma simultánea e instantánea la solución del coagulante *Moringa oleifera* a todas las jarras, cuidando de que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más rápida. Teniendo en cuenta que para que el proceso sea bien simulado el coagulante debe aplicarse en el punto de máxima turbulencia, es decir, al centro de las paletas.
- Una vez que el equipo concluyó con los tiempos de mezcla y floculación, este se apagó simultáneamente y se procedió a retirar las jarras, colocar los tomadores de muestras y dejamos sedimentar el agua por 15 minutos.
- Cumplido el tiempo de sedimentación seleccionado, descartamos de manera simultánea en las 6 jarras por un espacio de 5 segundos, el agua atrapada en el sifón, antes de tomar las muestras a todas las jarras en un volumen de aproximadamente 30 ml, y medimos la turbiedad.

### **3.5.2. Determinación de la concentración óptima**

#### **Procedimiento**

- Una vez determinadas la dosis de solución del coagulante *Moringa oleifera* al 2%, el siguiente paso fue el ver la influencia de la concentración en la remoción de la turbiedad.
- La preparación de la solución del coagulante *Moringa oleifera* a distintas concentraciones, se hizo para cada concentración según el procedimiento anterior.

- Se llenó las jeringas de acuerdo con el procedimiento indicado para la dosis óptima, pero colocando en todas las mismas dosis óptimas ya determinadas, con las diferentes concentraciones de solución preparadas.
- Se procedió a efectuar la mezcla rápida, la floculación y la decantación de acuerdo con lo indicado en la prueba anterior.
- Se determinó la turbiedad residual de cada jarra correspondiente, cada uno de concentración diferente y realizar gráficos para determinar la dosis óptima.

### **3.6. Técnicas y procesamiento de análisis de datos**

Para el procesamiento de datos se utilizó los software SAS y microsoft EXCEL, ya que son programas que nos dan confiabilidad en cuanto al procesamiento de datos; los resultados se analizaron en función a la prueba de normalidad y regresión lineal de los datos obtenidos en el laboratorio de EMAPA Huancavelica.

## CAPITULO IV

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de información

Los resultados obtenidos que se presentan a continuación corresponden a las pruebas realizadas en el laboratorio de EMAPA HUANCVELICA, las muestras fueron recogidas de la quebrada TACZANAPAMPA de la ciudad de Huancavelica; y se realizó los siguientes procesos: mezcla rápida, floculación y sedimentación, utilizando la solución de la semilla de *moringa oleifera* como coagulante.

##### 4.1.1. Dosis para turbidez menores a 50 UNT

Tabla 4  
Procedimiento en la prueba de jarras

PROCESO	GRADIENTE DE VELOCIDAD (G-1)	VELOCIDAD (RPM)	TIEMPO
Mezcla Rápida	280	300	5 s
Floculación	18	40	20 min
Sedimentación	0	0	15 min

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5  
Parámetros iniciales

DATOS INICIALES				
PARÁMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
TURBIEDAD (UNT)	7.40	9.52	14.57	31.06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6  
Resultado de la turbidez realizadas durante las 4 primeras semanas con concentración al 2%

RESULTADOS TURBIDEZ (UNT)				
DOSIS (mg/l)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
5	7.23	7.35	6.79	9.79
10	7.12	6.70	6.67	9.41
15	6.44	6.61	6.60	8.99
20	5.92	5.67	6.54	8.40
25	6.06	6.15	6.35	7.56
30	6.28	6.30	6.05	6.80
35	6.73	6.35	6.15	6.50
40	6.91	6.42	6.31	5.36
45	7.00	6.53	6.44	6.40
50	7.45	6.66	6.64	8.41
55	8.58	6.88	7.02	9.36
60	9.58	7.22	7.21	10.29

Fuente: Elaboración propia

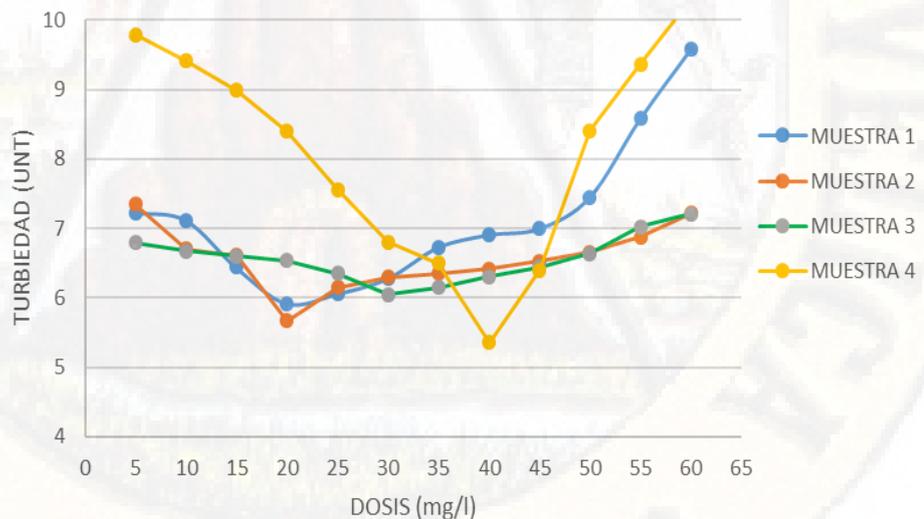


Gráfico 8. Dosis óptima para turbidez menores a 50 UNT.

Fuente: Elaboración propia

La figura muestra la variación de la turbiedad durante las cuatro primeras muestra aplicando dosis de *moringa oleifera* que

van desde 5 mg/l hasta 60 mg/l con intervalos de 5 mg/l llegando a obtener 12 resultados por muestra con una concentración al 2%, durante la primera muestra la remoción de turbidez fue de 7.4 UNT a 5.92 UNT con una dosis óptima de 20 mg/l; en la segunda muestra se observó una remoción de turbidez de 9.52 UNT a 5.67 UNT con una dosis optima de 20 mg/l; durante la medición de la tercera muestra se obtuvo una remoción de turbidez de 14.57 UNT a 6.05 UNT con una dosis óptima de 30mg/l y en la cuarta muestra se pudo observar una remoción de la turbidez de 31.06 UNT a 5.36 UNT con una dosis óptima de 40 mg/l.

Tabla 7  
Datos iniciales de temperatura de las 4 primeras muestras

<b>DATOS INICIALES</b>				
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>	<b>MUESTRA 4</b>
<b>TEMPERATURA (°C)</b>	11.80	11.60	10.19	7.57

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8  
Resultado de temperatura de las 4 primeras muestras

<b>DOSIS mg/l</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>			
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>	<b>MUESTRA 4</b>
<b>5</b>	11.81	11.6	10.2	7.58
<b>10</b>	11.81	11.7	10.2	7.58
<b>15</b>	11.82	11.7	10.21	7.58
<b>20</b>	11.82	11.6	10.21	7.59
<b>25</b>	11.81	11.8	10.21	7.59
<b>30</b>	11.81	11.7	10.2	7.58
<b>35</b>	11.83	11.7	10.21	7.58
<b>40</b>	11.82	11.6	10.22	7.57
<b>45</b>	11.82	11.7	10.22	7.58
<b>50</b>	11.81	11.7	10.21	7.57
<b>55</b>	11.81	11.6	10.21	7.57
<b>60</b>	11.82	11.6	10.21	7.57

Fuente: Elaboración propia

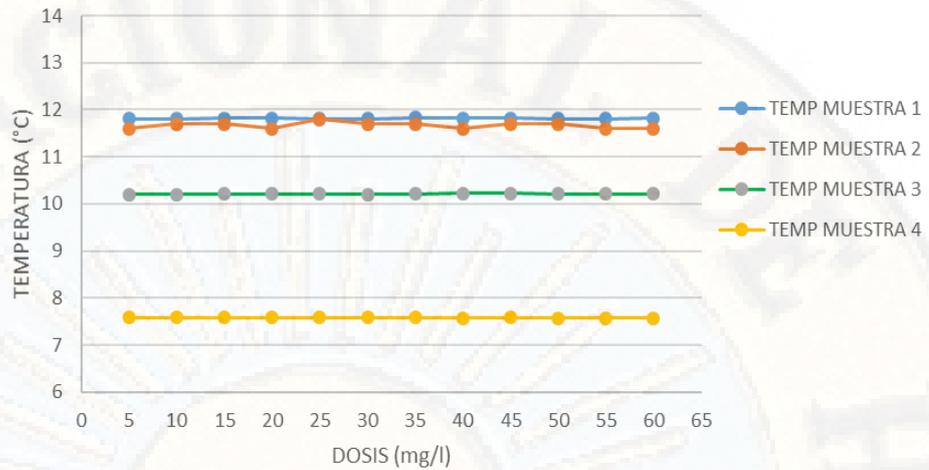


Gráfico 9. Comportamiento de la temperatura después de pasar por la prueba de jarras durante las 4 primeras muestras.

Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra el comportamiento de la temperatura durante la experimentación en laboratorio aplicando *moringa oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez; en la primera muestra la temperatura inicial fue de 11.8 °C no se observó una variación relevante en la temperatura final ya que se mantuvo desde 11.81 C° a 11.83 °C; en la observación de la segunda muestra la temperatura inicial fue de 11.6 °C no hubo mucha variación con respecto a la temperatura final ya que se mantuvo desde 11.6 °C a 11.8 °C, en la tercera muestra la temperatura inicial fue 10.19 °C teniendo una variación con respecto a la temperatura final de 10.2 °C a 10.22°C y en la muestra cuarta se pudo observar que la temperatura inicial fue 7.57 °C teniendo una variación de 7.57 °C a 7.79 °C con respecto a la temperatura final, es por ello que se pudo observar que la temperatura no tuvo mayor incidencia en los resultados de la dosis óptima.

Tabla 9

Datos iniciales de pH de las 4 primeras muestras

PARÁMETROS	DATOS INICIALES			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4

<b>pH</b>	7.25	7.60	8.12	8.10
-----------	------	------	------	------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Resultado de pH de las 4 primeras muestras

DOSIS mg/l	pH			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
5	7.35	7.62	8.15	8.13
10	7.42	7.69	8.15	8.13
15	7.49	7.78	8.16	8.14
20	7.54	7.83	8.16	8.17
25	7.61	7.91	8.17	8.18
30	7.69	7.95	8.19	8.2
35	7.77	7.99	8.21	8.21
40	7.91	8.01	8.24	8.23
45	7.99	8.1	8.27	8.24
50	8.13	8.15	8.29	8.26
55	8.25	8.21	8.3	8.26
60	8.42	8.26	8.33	8.27

Fuente: Elaboración propia

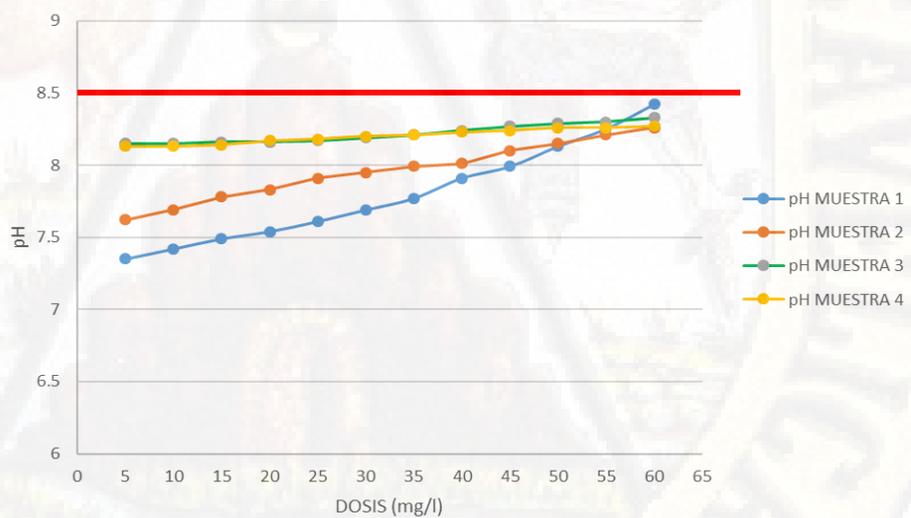


Gráfico 10. Comportamiento del pH después de pasar por la prueba de jarras durante las 4 primeras muestras.

Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra el comportamiento del pH durante la observación realizada en el laboratorio utilizando la *moringa oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez;

en la primera muestra se pudo observar que el pH inicial fue de 7.25 durante la adición de la dosis varió de 7.35 a 8.42 con respecto al pH final; en la segunda muestra el pH inicial fue de 7.60 y con la aplicación de la dosis varió desde 7.62 hasta 8.26 con respecto al pH final; durante la tercera muestra el pH inicial fue de 8.12 y con la aplicación de la dosis varió desde 8.15 hasta 8.33 con respecto al pH final; y en la cuarta muestra el pH inicial fue de 8.10 y con la aplicación de las dosis varió desde 8.13 hasta 8.27 con respecto al pH final.

#### 4.1.2. Dosis para turbiedades entre 50 UNT y 150 UNT

Tabla 11  
Procedimiento en la prueba de jarras

PROCESO	GRADIENTE DE VELOCIDAD (G-1)	VELOCIDAD (RPM)	TIEMPO
<b>Mezcla Rápida</b>	280	300	5 s
<b>Floculación</b>	18	40	20 min
<b>Sedimentación</b>	0	0	15 min

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12  
Parámetros iniciales de turbiedad

PARÁMETROS	DATOS INICIALES					
	MUEST. 5	MUEST. 6	MUEST. 7	MUEST. 8	MUEST. 9	MUEST. 10
<b>TURBIEDAD</b>	53.67	62.77	75.59	88.89	90.32	105.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13  
Resultado de la turbidez realizadas de la quinta a la décima muestra con concentración al 2%

DOSIS	TURBIEDAD FINAL (UNT)					
mg/l	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10
<b>60</b>	9.87	10.96	9.91	10.32	6.37	7.81
<b>65</b>	9.18	9.80	9.63	10.00	6.07	7.54
<b>70</b>	8.39	8.61	7.86	9.77	5.66	7.22
<b>75</b>	6.87	7.68	6.46	8.41	5.44	7.02
<b>80</b>	5.55	5.38	5.30	6.80	5.29	6.87
<b>85</b>	5.76	5.77	6.51	5.34	4.91	6.65
<b>90</b>	7.73	6.00	7.71	4.85	4.67	6.10
<b>95</b>	8.26	6.80	8.49	5.80	4.94	5.32
<b>100</b>	8.48	7.21	8.75	6.19	5.17	4.93

<b>105</b>	9.75	9.02	8.97	6.99	5.60	5.68
<b>110</b>	12.34	10.21	9.47	7.97	5.79	6.27
<b>115</b>	13.75	13.85	10.51	9.34	6.09	6.45

Fuente: Elaboración propia

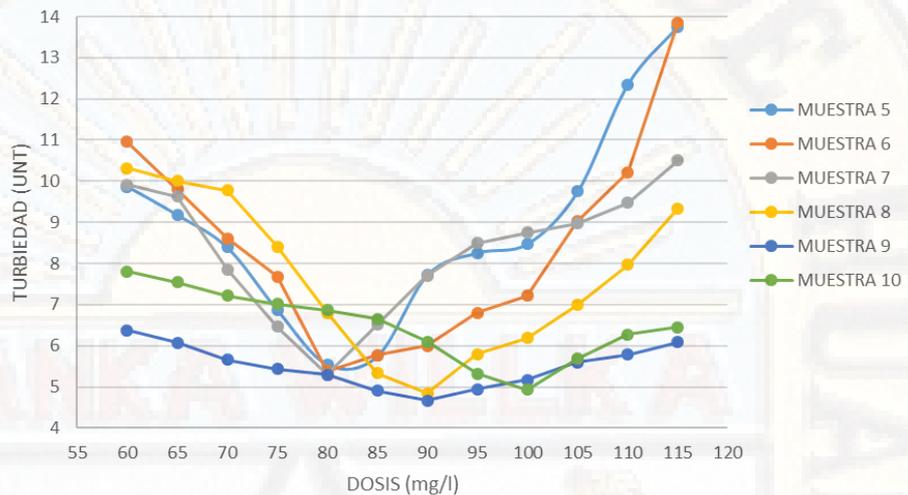


Gráfico 11. Comportamiento de la turbiedad después de pasar por la prueba de jarras de la muestra 5 a la 10.

Fuente: Elaboración propia

En la figura se puede observar la variación de la turbiedad durante las seis siguientes muestras aplicando dosis de *moringa oleifera* que van desde 60 mg/l hasta 115 mg/l con intervalos de 5 mg/l llegando a obtener 12 resultados por muestra con una concentración al 2%, durante la quinta muestra la remoción de turbiedad fue de 53.67 UNT a 5.55 UNT con una dosis óptima de 80 mg/l; en la sexta muestra se observó una remoción de turbiedad de 62.77 UNT a 5.38 UNT con una dosis óptima de 80 mg/l; durante la medición de la séptima muestra se obtuvo una remoción de turbiedad de 75.59 UNT a 5.30 UNT con una dosis óptima de 80mg/l; en la octava muestra se pudo observar una remoción de la turbiedad de 88.89 UNT a 4.85 UNT con una dosis óptima de 90 mg/l; en la novena muestra se pudo observar una remoción de la turbiedad de 90.32 UNT a 4.67 UNT con una dosis óptima de 90 mg/l y en la décima muestra se pudo observar una

remoción de la turbidez de 105.63 UNT a 4.93 UNT con una dosis óptima de 100 mg/l.

Tabla 14  
Procedimiento de la prueba de jarras

PROCESO	GRADIENTE DE VELOCIDAD (G-1)	VELOCIDAD (RPM)	TIEMPO
Mezcla Rápida	280	300	5 s
Floculación	18	40	20 min
Sedimentación	0	0	15 min

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15  
Datos iniciales de temperatura de la muestra 5 a la 10

PARÁMETROS	DATOS INICIALES					
	MUEST. 5	MUEST. 6	MUEST. 7	MUEST. 8	MUEST. 9	MUEST. 10
TEMPERATURA (°C)	5.87	6.13	8.87	5.83	4.6	4.13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16  
Resultado de Temperatura de la muestra 5 a la 10

DOSIS mg/l	TEMPERATURA (°C)					
	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10
60	5.88	6.14	8.88	5.84	4.61	4.14
65	5.88	6.14	8.88	5.84	4.61	4.14
70	5.89	6.14	8.89	5.85	4.62	4.15
75	5.89	6.15	8.89	5.85	4.61	4.15
80	5.9	6.13	8.89	5.85	4.62	4.14
85	5.89	6.14	8.9	5.84	4.61	4.15
90	5.89	6.15	8.89	5.84	4.62	4.16
95	5.89	6.15	8.89	5.86	4.63	4.15
100	5.88	6.14	8.89	5.86	4.63	4.15
105	5.88	6.14	8.9	5.85	4.62	4.16
110	5.89	6.14	8.89	5.85	4.62	4.15
115	5.89	6.15	8.89	5.85	4.62	4.15

Fuente: Elaboración propia

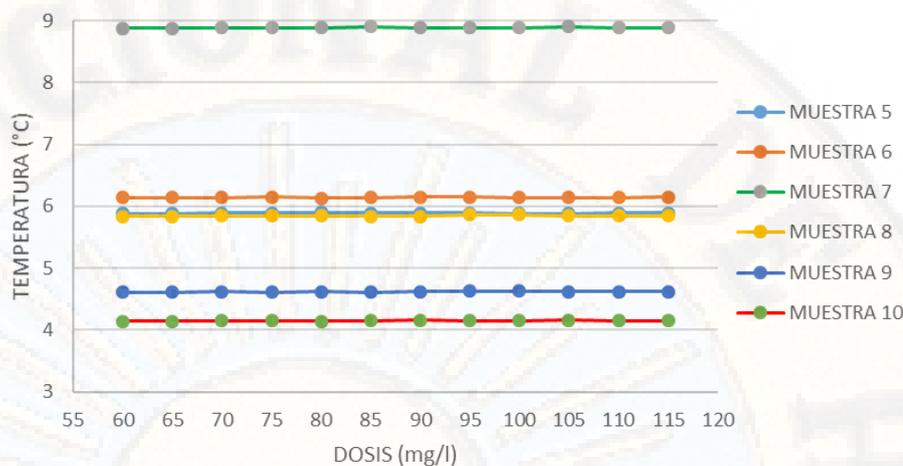


Gráfico 12. Comportamiento de la temperatura después de pasar por la prueba de jarras de la muestra 5 a la 10.

Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra el comportamiento de la temperatura durante la experimentación en laboratorio aplicando *moringa oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez; en la quinta muestra la temperatura inicial fue de 5.87 °C no se observó una variación relevante ya que se mantuvo desde 5.88 °C a 5.90 °C con respecto a la temperatura final; en la observación de la sexta muestra la temperatura inicial fue de 6.13 °C no hubo mucha variación ya que se mantuvo desde 6.13 °C a 6.15 °C con respecto a la temperatura final, en la séptima muestra la temperatura inicial fue 8.87 °C teniendo una variación de 8.88 °C a 8.90 °C con respecto a la muestra final; en la octava muestra la temperatura inicial fue 5.83 °C teniendo una variación de 5.84 °C a 5.86 °C con respecto a la muestra final; en la novena muestra la temperatura inicial fue 4.60 °C teniendo una variación de 4.61 °C a 4.63 °C con respecto a la temperatura final; y en la décima muestra se pudo observar que la temperatura inicial fue 4.13 °C teniendo una variación de 4.14 °C a 4.16 °C con respecto a la temperatura final, es por ello que se pudo observar que la temperatura no tuvo mayor incidencia en los resultados de la dosis óptima, aplicando *moringa oleifera*.

Tabla 17  
Datos iniciales de pH

DATOS INICIALES						
PARÁMETRO	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10
pH	7.38	7.40	7.58	7.39	7.72	7.91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18  
Resultado del comportamiento del pH de la muestra 5 a la muestra 10

DOSIS mg/l	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10
60	7.54	7.52	7.64	7.45	7.79	7.98
65	7.59	7.55	7.68	7.48	7.84	8.03
70	7.62	7.59	7.73	7.52	7.88	8.09
75	7.67	7.62	7.79	7.57	7.98	8.14
80	7.73	7.67	7.84	7.64	8.05	8.18
85	7.78	7.71	7.89	7.69	8.12	8.23
90	7.85	7.75	7.93	7.76	8.17	8.29
95	7.89	7.79	7.97	7.79	8.23	8.33
100	7.93	7.84	8.02	7.82	8.29	8.37
105	7.98	7.89	8.1	7.87	8.34	8.41
110	8.05	7.93	8.19	7.95	8.39	8.43
115	8.12	7.96	8.25	8.12	8.42	8.48

Fuente: Elaboración propia

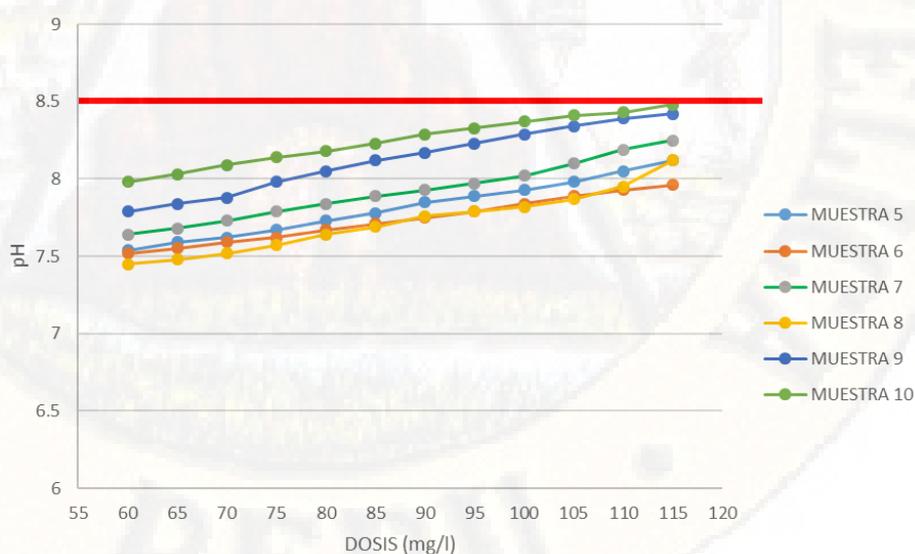


Gráfico 13. Comportamiento del pH después de pasar por la prueba de jarras de la muestra 5 a la 10.

Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra el comportamiento del pH durante la observación realizada en el laboratorio utilizando la *moringa oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez; en la quinta muestra se pudo observar que el pH inicial fue de 7.38 durante la adición de la dosis variando de 7.54 a 8.12 con respecto al pH final; en la sexta muestra el pH inicial fue de 7.40 y con la aplicación de la dosis varió desde 7.52 hasta 7.96 con respecto al pH final; durante la séptima muestra el pH inicial fue de 7.58 y con la aplicación de la dosis varió desde 7.64 hasta 8.25 con respecto al pH final; en la octava muestra el pH inicial fue de 7.39 y con la aplicación de las dosis varió desde 7.45 hasta 8.12 con respecto al pH final; durante la novena muestra el pH inicial fue de 7.72 y con la aplicación de la dosis varió desde 7.79 hasta 8.42 con respecto a la dosis final; y en la décima semana el pH inicial fue de 7.91 y con la aplicación de las dosis varió desde 7.98 hasta 8.48 con respecto al pH final.

#### 4.1.3. Concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT

Tabla 19  
Proceso de la prueba de jarras

PROCESO	GRADIENTE DE VELOCIDAD (G-1)	VELOCIDAD (RPM)	TIEMPO
Mezcla Rápida	280	300	5 s
Floculación	18	40	20 min
Sedimentación	0	0	15 min

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Datos iniciales de turbiedad

PARÁMETROS	DATOS INICIALES									
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10
<b>TURBIEDAD (UNT)</b>	7.4	9.52	14.57	31.06	53.67	62.77	75.59	88.89	90.32	105.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Resultados de la turbiedad aplicando distintas concentraciones

CONCENTRACIÓN	TURBIEDAD FINAL (UNT)										
	%	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10
<b>10</b>		8.75	7.68	10.67	8.36	10.93	10.27	10.08	10.18	9.14	10.15
<b>5</b>		7.95	6.61	7.36	6.54	5.25	5.27	5.64	5.68	6.61	7.19
<b>3</b>		5.77	5.21	6.92	5.41	5.19	5.07	5.15	5.1	5.34	6.14
<b>2</b>		6.01	6.29	6.02	5.29	5.66	5.45	5.24	4.83	4.63	4.87
<b>1</b>		7.16	6.21	6.19	6.22	7.28	7.49	8.39	8.45	5.93	7.41
<b>0.5</b>		7.62	6.36	6.23	7.15	10.87	10.84	11.07	10.78	10.8	9.84

Fuente: Elaboración propia

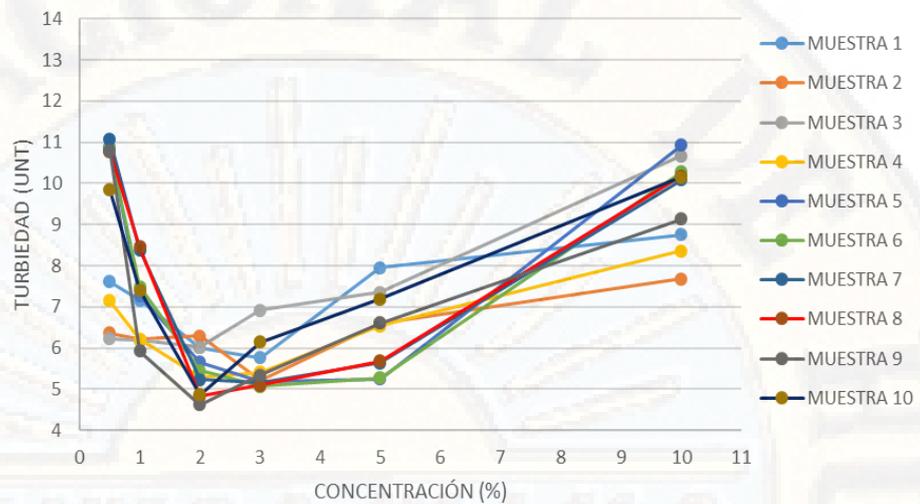


Gráfico 14. Comportamiento de la turbiedad después de pasar por la prueba de jarras.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura se puede observar la variación de la turbiedad durante las diez semanas aplicando distintas concentraciones de *Moringa oleifera*: 0.5%, 1%, 2%, 3%, 5% y 10% llegando a obtener 6 resultados por muestra aplicando las dosis óptimas que salieron durante la primera experimentación; en la primera muestra para una dosis óptima de 20 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 3% removiendo la turbidez de 7.40 UNT a 5.77 UNT; en la segunda muestra para una dosis óptima de 20 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 3% removiendo la turbidez de 9.52 UNT a 5.21 UNT; en la tercera muestra para una dosis óptima de 30 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 2% removiendo la turbidez de 14.57 UNT a 6.02 UNT; en la cuarta muestra para una dosis óptima de 40 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 2% removiendo la turbidez de 31.06 UNT a 5.29 UNT; en la quinta muestra para una dosis óptima de 90 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 3% removiendo la turbidez de 53.67 UNT a 5.19 UNT; en la sexta muestra para una dosis óptima de 80 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 3% removiendo la turbidez de 62.77 UNT a 5.07 UNT; en la séptima muestra para

una dosis óptima de 80 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 3% removiendo la turbidez de 75.59 UNT a 5.15 UNT; en la octava muestra para una dosis óptima de 90 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 2% removiendo la turbidez de 88.89 UNT a 4.83 UNT; en la novena muestra para una dosis óptima de 90 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 2% removiendo la turbidez de 90.32 UNT a 4.63 UNT; y en la décima muestra para una dosis óptima de 100 mg/l se obtuvo una concentración óptima del 2% removiendo la turbidez de 105.63 UNT a 4.87 UNT.

Tabla 22  
Proceso de prueba de jarras

PROCESO	GRADIENTE DE VELOCIDAD (G-1)	VELOCIDAD (RPM)	TIEMPO
Mezcla Rápida	280	300	5 s
Floculación	18	40	20 min
Sedimentación	0	0	15 min

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Datos iniciales de la muestra

DATOS INICIALES										
PARÁMETRO	MUESTRA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TEMPERATURA (°C)	11.8	11.6	10.19	7.57	5.87	6.13	8.87	5.83	4.6	4.13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Resultados de la temperatura después de aplicar Moringa oleifera

CONCENTRACIÓN	TEMPERATURA (°C)									
%	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>10</b>	11.82	11.7	10.21	7.59	5.88	6.14	8.88	5.84	4.62	4.14
<b>5</b>	11.82	11.7	10.21	7.59	5.88	6.14	8.89	5.84	4.61	4.14
<b>3</b>	11.81	11.8	10.2	7.58	5.89	6.15	8.89	5.85	4.61	4.15
<b>2</b>	11.81	11.8	10.21	7.58	5.89	6.15	8.9	5.85	4.63	4.15
<b>1</b>	11.81	11.7	10.2	7.58	5.88	6.14	8.89	5.84	4.62	4.14
<b>0.5</b>	11.82	11.7	10.21	7.59	5.89	6.15	8.89	5.84	4.62	4.14

Fuente: Elaboración propia

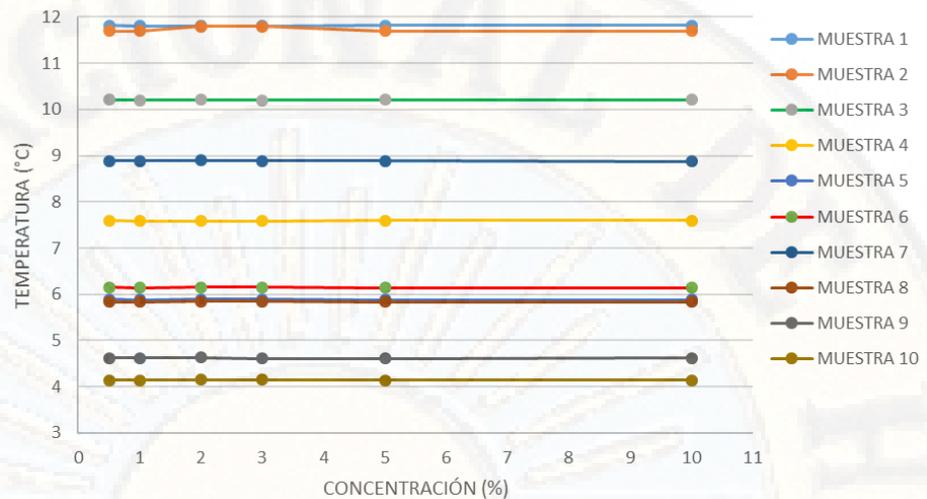


Gráfico 15. Comportamiento de la turbiedad después de pasar por la prueba de jarras.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra el comportamiento de la temperatura durante la experimentación en laboratorio aplicando *moringa oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez durante la medición de la concentración óptima los resultados fueron; en la primera muestra la temperatura inicial fue de 11.80 °C teniendo una variación no relevante ya que se mantuvo desde 11.81 °C a 11.82 °C con respecto a la temperatura final; en la observación de la segunda muestra la temperatura inicial fue de 11.6 °C teniendo una variación no relevante en un intervalo de 11.7 °C a 11.8 °C con respecto a la temperatura final, en la tercera muestra la temperatura inicial fue 10.19 °C teniendo una variación en el resultado de 10.20 °C a 10.21 °C con respecto a la temperatura final; en la cuarta muestra la temperatura inicial fue 7.57 °C teniendo una variación en el resultado de 7.58 °C a 7.59°C con respecto a la temperatura final; en la quinta muestra la temperatura inicial fue 5.87 °C teniendo una variación en el resultado de 5.88 °C a 5.89 °C con respecto a la temperatura final; en la sexta muestra se pudo observar que la temperatura inicial fue 6.13 °C teniendo una variación de 6.14 °C a 6.15 °C con respecto a la temperatura final; en la sexta muestra se pudo

observar que la temperatura inicial fue 6.13 °C teniendo una variación de 6.14 °C a 6.15 °C con respecto a la temperatura final; en la séptima muestra se pudo observar que la temperatura inicial fue 8.87 °C teniendo una variación de 8.88 °C a 8.90 °C con respecto a la temperatura final; en la octava muestra se pudo observar que la temperatura inicial fue 5.83 °C teniendo una variación de 5.84 °C a 5.85 °C con respecto a la temperatura final; en la novena muestra se pudo observar que la temperatura inicial fue 4.60 °C teniendo una variación de 4.61 °C a 4.63 °C con respecto a la temperatura final; y en la décima muestra se pudo observar que la temperatura inicial fue 4.13 °C teniendo una variación de 4.14 °C a 4.15 °C con respecto a la temperatura final.

Tabla 25  
Proceso de la prueba de jarras

<b>PROCESO</b>	<b>GRADIENTE DE VELOCIDAD (G-1)</b>	<b>VELOCIDAD (RPM)</b>	<b>TIEMPO</b>
<b>Mezcla Rápida</b>	280	300	5 s
<b>Floculación</b>	18	40	20 min
<b>Sedimentación</b>	0	0	15 min

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26  
 Datos iniciales de pH

DATOS INICIALES										
PARÁMETRO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10
pH	7.25	7.6	8.12	8.10	7.38	7.40	7.58	7.39	7.72	7.91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27  
 Resultados del comportamiento del pH adicionando Moringa oleifera

CONCENTRACIÓN	pH									
%	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9	MUESTRA 10
10	8.31	8.21	8.48	8.47	7.85	8.01	8.15	7.88	8.45	8.32
5	8.24	8.12	8.41	8.36	7.79	7.88	7.98	7.79	8.4	8.26
3	7.82	8.01	8.38	8.29	7.64	7.72	7.86	7.68	8.39	8.19
2	7.56	7.89	8.25	8.23	7.55	7.65	7.79	7.55	8.37	8.12
1	7.51	7.72	8.19	8.19	7.48	7.53	7.71	7.49	8.31	8.05
0.5	7.31	7.65	8.15	8.15	7.42	7.5	7.65	7.45	8.29	7.97

Fuente: Elaboración propia

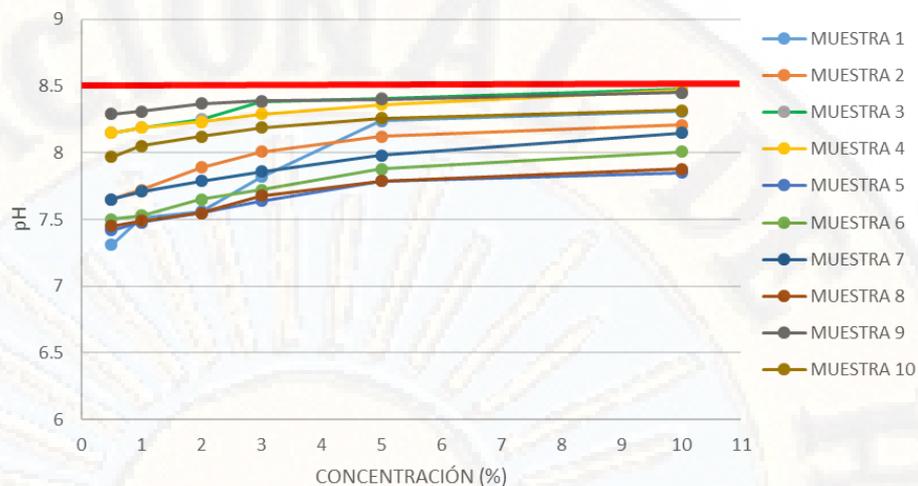


Gráfico 16. Comportamiento del pH después de pasar por la prueba de jarras.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra el comportamiento del pH durante la observación realizada en el laboratorio utilizando la *moringa oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez dentro de la medición de la concentración; en la primera muestra se pudo observar que el pH inicial fue de 7.25 y en el resultado varió de 7.31 a 8.31; en la segunda muestra el pH inicial fue de 7.60 variando en el resultado de 7.65 a 8.21; durante la tercera muestra el pH inicial fue de 8.12 variando en el resultado de 8.15 a 8.48; en la cuarta muestra el pH inicial fue de 8.10 con una variación en el resultado de 8.15 a 8.47; durante la quinta muestra el pH inicial fue de 7.38 variando de 7.42 a 7.85 en el resultado; en la sexta muestra el pH inicial fue de 7.40 variando en el resultado de 7.50 a 8.01; en la séptima muestra el pH inicial fue de 7.58 variando en el resultado de 7.65 a 8.15; en la octava muestra el pH inicial fue de 7.39 variando en el resultado de 7.45 a 7.88; en la novena muestra el pH inicial fue de 7.72 variando en el resultado de 7.78 a 8.15; y por último en la décima muestra el pH inicial fue de 7.91 variando en el resultado de 7.97 a 8.32.

## 4.2. Prueba de hipótesis

### 4.2.1 Contrastación de la hipótesis general

#### A. Formulación de hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema

Ha: La dosis óptima se encuentra dentro del rango de 10 a 100 mg/l y la concentración óptima de 2% a 3% del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

Ho: La dosis óptima NO se encuentra dentro del rango de 10 a 100 mg/l ni la concentración óptima de 2% a 3% del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

#### B. Nivel de significación

Este trabajo de investigación se desarrolló con una significancia del 5%; es decir  $\alpha=0.05$  y con un grado de confiabilidad del 95%.

#### C. Estadístico de prueba

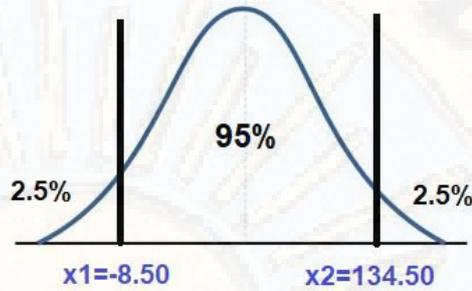
El estadístico utilizado para la prueba fue una t de Student, de acuerdo a una regresión lineal ya que lo que se pretende es describir cómo se comporta la turbiedad sobre la dosis y concentración.

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_1}{\sqrt{\frac{CM_\varepsilon}{S_{xx}}}} \quad t_0 = \frac{\hat{\beta}_0}{\sqrt{CM_\varepsilon \left[ \frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{S_{xx}} \right]}}$$

**D. Valor crítico**

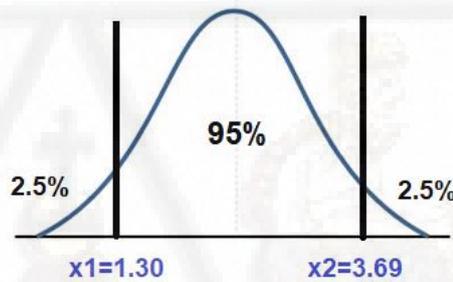
Dosis óptima

$t_0 = \pm 2.26$



Concentración óptima

$t_0 = \pm 2.26$



**E. Cálculo de los estadígrafos de prueba**

Tabla 28

Prueba de normalidad de muestras con turbiedades menores a 150 UNT

TEST PARA NORMALIDAD				
Test	Estadístico		p valor	
Shapiro-Wilk	W	0.655271	$Pr < W$	0.065

Fuente: Elaboración propia

Según la prueba de normalidad de **Kolmogorov-Smirnov** que ha sido procesado en el programa SAS donde en los resultados se aprecia un “p” valor mayor a 0.065, estando por encima de 0.05, lo cual indica que nuestros datos son normales.

Tabla 29

Resultado de las concentraciones óptimas

DOSIS Y CONCENTRACIÓN ÓPTIMA											
PARÁMETROS	MU 1	MU 2	MU 3	MU 4	MU 5	MU 6	MU 7	MU 8	MU 9	MU 10	

TURBIEDAD(UNT)	7.4	9.52	14.57	31.06	53.67	62.77	75.59	88.89	90.32	105.63
DOSIS ÓPTIMA (%)	20	20	30	40	90	80	80	90	90	100
CONCENTRACIÓN ÓPTIMA (%)	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30

Prueba de normalidad de muestras con turbiedades menores a 150 UNT

ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA REGRESIÓN					
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F Valor	Signif. <5%
Regresión	2	8781.71783	4390.85892	134.64	<.0001
Error	7	228.28217	32.61174		
Total corregido	9	9010.00000			
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>					0.9747
<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>					0.9674
<b>Error Típico</b>					5.71067

ESTIMADORES DE PARÁMETROS					
Variable	Grados de Libertad	Estimador del parámetro	Error estándar	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	7.63550	4.74697	1.61	0.1518
TURBIEDAD	1	1.49449	0.22743	6.57	0.0003
TURBIEDAD <sup>2</sup>	1	-0.00615	0.00209	-2.95	0.0215

Fuente: Elaboración propia con programa SAS

ECUACIÓN

$$\text{DOSIS} = 18.57166 + 0.84217 (\text{TURBIEDAD})$$

Tabla 31

Análisis de la Varianza de la Regresión de concentraciones óptimas para turbiedades hasta 150 UNT

ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA REGRESIÓN					
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F Valor	Significancia < 0.05
Regresión	4	2.32759	0.58190	16.88	0.0042
Error	5	0.17241	0.03448		
Total corregido	9	2.50000			
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>					0.9310
<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>					0.8759
<b>Error Típico</b>					0.18569

ESTIMADORES DE PARÁMETROS					
Variable	Grados de Libertad	Estimador del parámetro	Error estándar	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	5.22887	0.41670	12.55	<.0001
TURBIEDAD	1	-0.36698	0.05437	-6.75	0.0011
TURBIEDAD <sup>2</sup>	1	0.01272	0.00188	6.78	0.0011
TURBIEDAD <sup>3</sup>	1	-0.00015851	0.000024	-6.56	0.0012
TURBIEDAD <sup>4</sup>	1	6.462249E-7	1.042E-7	6.20	0.0016

Fuente: Elaboración propia con programa SAS

#### ECUACIÓN:

CONCENTRACIÓN= 5.22887-0.36698 (TURBIEDAD)+ 0.01272 (TURBIEDAD)<sup>2</sup> - 0.00015851 (TURBIEDAD)<sup>3</sup>+6.462249E-7(TURBIEDAD)<sup>4</sup>

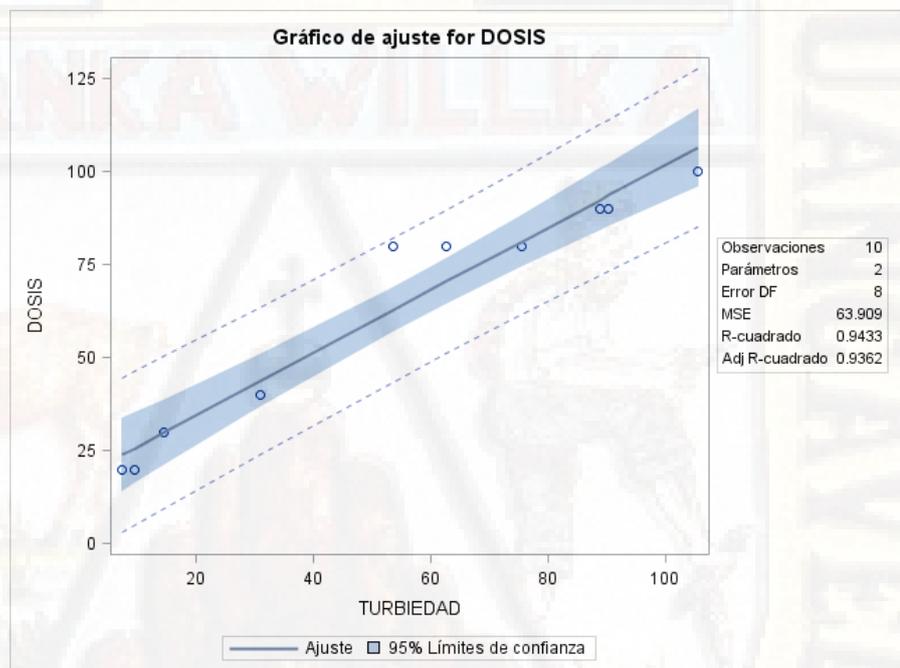


Gráfico 17. Diagrama de dispersión.

Fuente: Elaboración propia

#### F. Decisión estadística

El valor de significancia encontrado entre la turbiedad y la dosis óptima es <0.001 que es menor al 0.05 y con respecto a la turbiedad y concentración es 0.0042 y con respecto al coeficiente de determinación los R<sup>2</sup> son 0.9747 y 0.9310 respectivamente, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, es decir que: **“La dosis óptima se encuentra dentro del rango de 10 a 100 mg/l y la**

concentración óptima de 2% a 3% del coagulante de *moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica”.

#### 4.2.2 Contrastación de las hipótesis específicas

##### A. Formulación de hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema

###### Hipótesis específica 1:

Ha: La dosis óptima para turbiedades menores a 50 UNT, se encuentra dentro del rango en un rango de 10 a 50 mg/l del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

Ho: La dosis óptima para turbiedades menores a 50 UNT, **NO** se encuentra dentro del rango en un rango de 10 a 50 mg/l del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

###### Hipótesis específica 2:

Ha: La dosis óptima para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT, se encuentra dentro del rango de 30 a 100 mg/l del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

Ho: La dosis óptima para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT, **NO** se encuentra dentro del rango de 30 a 100 mg/l del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación

del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

### Hipótesis específica 3:

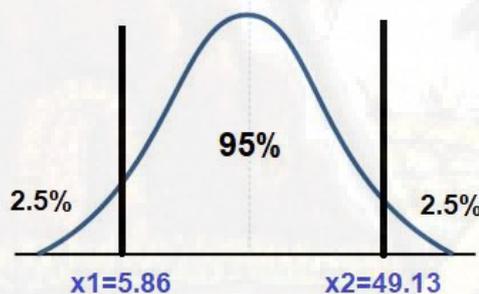
Ha: La concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT, se encuentra dentro del rango de 2 a 3 % del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

Ho: La concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT, **NO** se encuentra dentro del rango de 2 a 3 % del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.

### B. Valor crítico

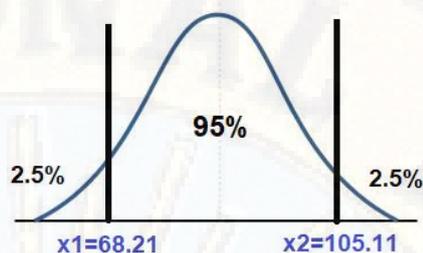
Dosis óptimas en un rango de 10 mg/l a 50 mg/l con Turbiedades menores a 50 UNT

$t_o = \pm 2.26$

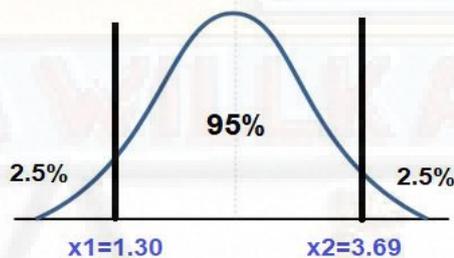


Dosis óptimas en un rango de 30 mg/l a 100 mg/l con Turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT

$t_o = \pm 2.26$



Concentraciones óptimas en un rango de 2% a 3% con Turbiedades menores a 50 UNT  
 $t_0 = \pm 2.26$



### C. Cálculo de los estadígrafos de prueba

#### Hipótesis específica 1:

Tabla 32

Prueba de normalidad de muestras con turbiedades menores a 50 UNT

TEST PARA NORMALIDAD			
Test	Estadístico		p valor
<b>Shapiro-Wilk</b>	<b>W</b> 0.863369	<b>Pr &lt; W</b>	0.2725

Fuente: Elaboración propia con programa SAS

Según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk que ha sido procesado en el programa SAS donde en los resultados se aprecia un “p” valor mayor a 0.27, estando por encima de 0.05, lo cual indica que nuestros datos son normales.

Tabla 33

Resultados de las dosis óptimas para turbiedades menores a 50 UNT

PARÁMETROS	DOSIS ÓPTIMA			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
TURBIEDAD INICIAL (UNT)	7.4	9.52	14.57	31.06
DOSIS ÓPTIMA (mg/l)	20	20	30	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34

Análisis de la varianza de la regresión de dosis óptimas para turbiedades menores a 50 UNT

<b>ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA REGRESIÓN</b>					
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F Valor	Significancia < 0.05
Regresión	1	257.55688	257.55688	29.53	0.0322
Error	2	17.44312	8.72156		
Total corregido	3	275.00000			
<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup></b>					0.9366
<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>					0.9049
<b>Error Típico</b>					2.95323

<b>ESTIMADORES DE PARÁMETROS</b>					
Variable	Grados de Libertad	Estimador del parámetro	Error estándar	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	13.97453	2.89399	4.83	0.0403
TURBIEDAD	1	0.86494	0.15916	5.43	0.0322

Fuente: Elaboración según resultados SAS

**ECUACIÓN:**

$$\text{DOSIS} = 13.97453 + 15.086494 (\text{TURBIEDAD})$$

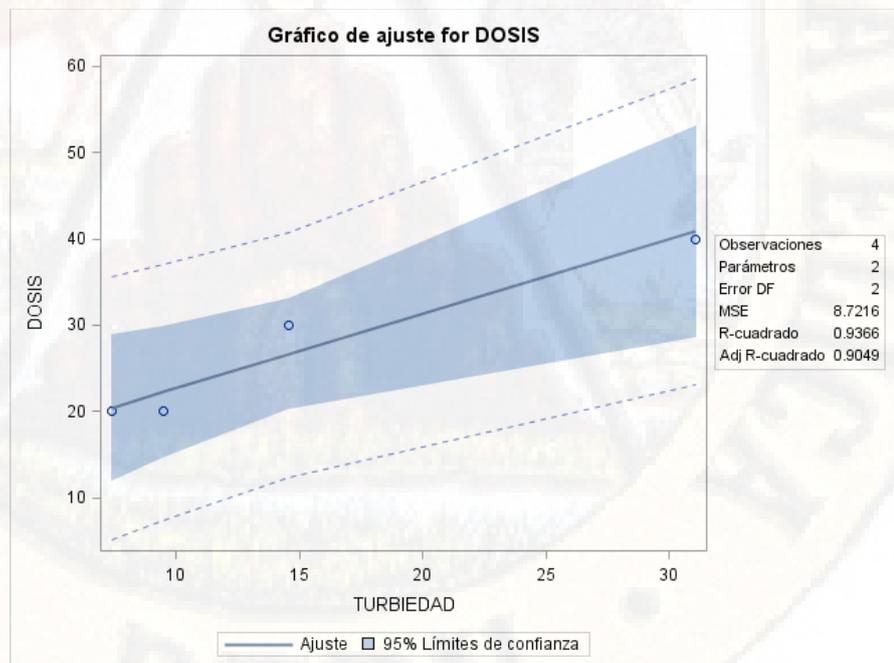


Gráfico 18. Diagrama de dispersión.

Fuente: Elaboración propia

## Hipótesis específica 2:

Tabla 35

Prueba de normalidad de muestras con turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT

TEST PARA NORMALIDAD				
Test	Estadístico		p valor	
Shapiro-Wilk	W	0.821616	Pr < W	0.0911

Fuente: Elaboración propia

Según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk que ha sido procesado en el programa SAS, donde en los resultados se aprecia un “p” valor mayor a 0.09, estando por encima de 0.05, lo cual indica que nuestros datos son normales.

Tabla 36

Resultados de las dosis óptimas para turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT

DOSIS ÓPTIMA						
PARÁMETROS	MU 5	MU 6	MU 7	MU 8	MU 9	MU 10
TURBIEDAD (UNT)	53.67	62.77	75.59	88.89	90.32	105.63
DOSIS ÓPTIMA (mg/l)	80	80	80	90	90	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37

Análisis de la varianza de la regresión de dosis óptimas para turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT

ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA REGRESIÓN					
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F Valor	Significancia < 0.05
Regresión	1	284.50620	284.50620	23.31	0.0085
Error	4	48.82714	12.20678		
Total corregido	5	333.33333			

Coefficiente de determinación R<sup>2</sup> 0.8535

R<sup>2</sup> Ajustado 0.8169

Error Típico 3.49382

ESTIMADORES DE PARÁMETROS					
Variable	Grados de libertad	Estimador del parámetro	Error estándar	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	55.50195	6.61102	8.40	0.0011
TURBIEDAD	1	0.39212	0.08122	4.83	0.0085

Fuente: Elaboración según resultados SAS

**ECUACIÓN:**

DOSIS= 55.50195 + 0.39212 (TURBIEDAD)

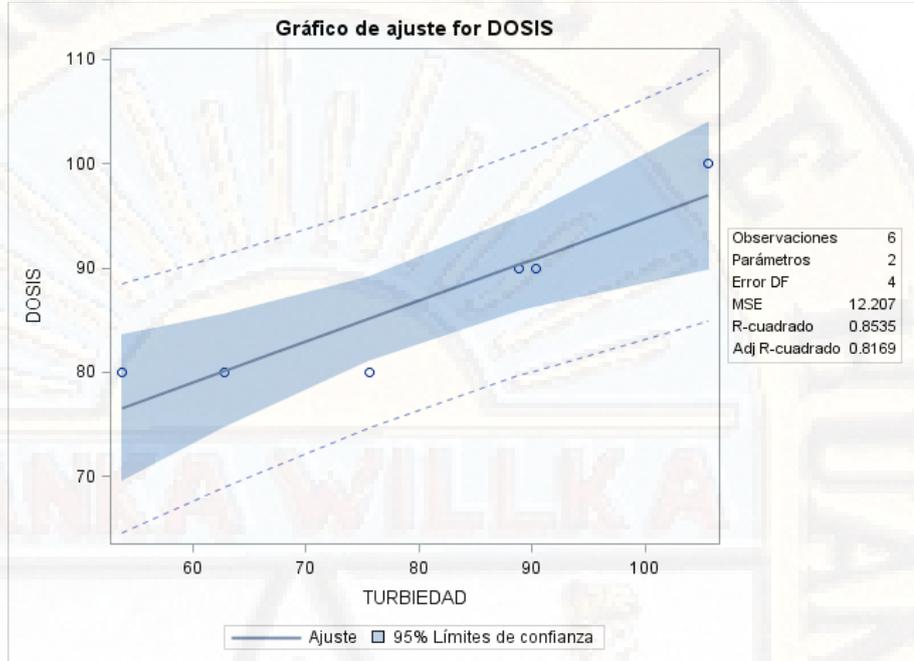


Gráfico 19. Diagrama de dispersión.  
Fuente: Elaboración propia

**Hipótesis específica 3:**

Tabla 38  
Prueba de normalidad de muestras con turbiedades menores a 150 UNT

TEST PARA NORMALIDAD				
Test	Estadístico	P valor		
<b>Shapiro-wilk</b>	<b>W</b>	0.834238	<b>Pr &lt; w</b>	0.076

Fuente: Elaboración propia con programa SAS

Según la prueba de normalidad de **Kolmogorov-Smirnov** que ha sido procesado en el programa SAS, donde en los resultados se aprecia un “p” valor mayor a 0.076, estando por encima de 0.05, lo cual indica que nuestros datos son normales.

Tabla 39  
Resultado de las concentraciones óptimas

concentración óptima										
PARÁMETROS	MU 1	MU 2	MU 3	MU 4	MU 5	MU 6	MU 7	MU 8	MU 9	MU 10
<b>TURBIEDAD</b>	7.4	9.52	14.57	31.06	53.67	62.77	75.59	88.89	90.32	105.63
<b>D (UNT)</b>										

CONCENTRACIÓN ÓPTIMA (%)	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2
--------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40

Análisis de la varianza de la regresión de dosis óptimas para turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT

Análisis de la varianza de la regresión					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F Valor	Significancia < 0.05
Regresión	4	2.32759	0.58190	16.88	0.0042
Error	5	0.17241	0.03448		
Total corregido	9	2.50000			
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>					0.9310
R <sup>2</sup> Ajustado					0.8759
Error típico					0.18569

Estimadores de parámetros					
Variable	Grados de Libertad	Estimador del parámetro	Error estándar	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	5.22887	0.41670	12.55	<.0001
TURBIEDAD	1	-0.36698	0.05437	-6.75	0.0011
TURBIEDAD <sup>2</sup>	1	0.01272	0.00188	6.78	0.0011
TURBIEDAD <sup>3</sup>	1	-0.00015851	0.000024	-6.56	0.0012
TURBIEDAD <sup>4</sup>	1	6.462249E-7	1.042E-7	6.20	0.0016

Fuente: Elaboración propia con programa SAS

#### ECUACIÓN:

$$\text{CONCENTRACIÓN} = 5.22887 - 0.36698 (\text{TURBIEDAD}) + 0.01272 (\text{TURBIEDAD})^2 - 0.00015851 (\text{TURBIEDAD})^3 + 6.462249 \times 10^{-7} (\text{TURBIEDAD})^4$$

Según los resultados estadísticos existe una significancia entre la turbiedad y la dosis óptima de 0.0042, hecha mediante una prueba de Regresión a la cuarta.

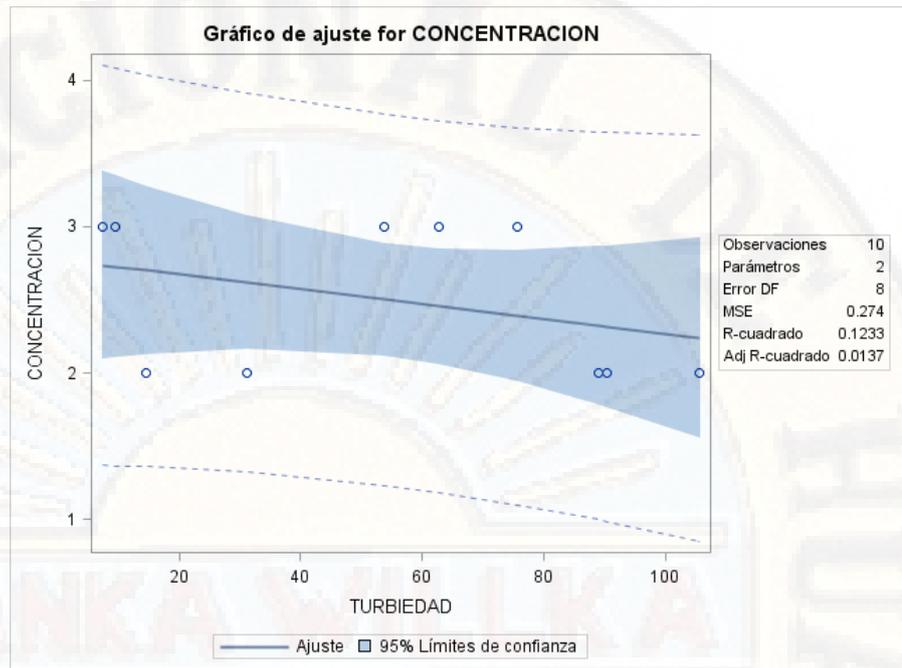


Gráfico 20. Diagrama de dispersión.  
Fuente: Elaboración propia

#### D. Decisión estadística

##### Hipótesis específica 1

El valor de significancia encontrado entre la turbiedad y la dosis óptima es de 0.0322 que es menor al 0.05 y corroborando el coeficiente de determinación  $R^2$  que es 0.9366 se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, es decir que: **La dosis óptima para turbiedades menores a 50 UNT, se encuentra dentro del rango de 10 a 50 mg/l del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.**

##### Hipótesis específica 2:

El valor de significancia encontrado entre la turbiedad y la dosis óptima es 0.0085 que es menor al 0.05 y el coeficiente de determinación  $R^2$  es 0.8535 se acepta la hipótesis alterna y se

rechaza la hipótesis nula, es decir que: **La dosis óptima para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT, se encuentra dentro del rango de 30 a 100 mg/l del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.**

#### **Hipótesis específica 3:**

El valor de significancia encontrado entre la turbiedad y la dosis óptima es 0.0042 que es menor al 0.05 y el coeficiente de determinación  $R^2$  es 0.9310, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, es decir que: **La concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT, se encuentra dentro del rango de 2 a 3 % del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.**

### **4.3. Discusión de resultados**

#### **4.3.1 Para dosis menores a 50 UNT**

Según los resultados obtenidos, se puede apreciar que el rango de las dosis óptimas para turbiedades menores a 50 UNT, se encuentra dentro del rango de 10 a 50mg/l, por lo tanto, coincidimos con (Schwarz, 2000) que menciona que para turbiedades menores a 50 UNT la dosis óptima se encuentra entre 10 a 50 mg/l, esto también es corroborado por (Ridwan, et al., 2011) quienes mencionan que para una turbiedad inicial de 21 UNT con una dosis óptima de 15 mg/l se pudo obtener una turbiedad final de 4.1 UNT esto coincide con nuestro resultado por encontrarse dentro del rango establecido, para todo esto se tuvo en cuenta el coeficiente de determinación  $R^2$  de 93.66% a un nivel

de confianza del 95% tal como se observa en la Tabla N° 34. Resultando como modelo la ecuación lineal siguiente:

$$\text{DOSIS} = 13.97453 + 15.086494 (\text{TURBIEDAD})$$

Cabe indicar que el comportamiento de las temperaturas y pH en las pruebas realizadas, para turbiedades antes mencionadas, no tiene incidencia en cuanto al resultado de la utilización de la *moringa oleifera* para hallar la dosis óptima, ya que en el caso de la temperatura su variación es de 0.01 °C a 0.02 °C y en el caso del pH la variación está dentro del rango estipulado por la norma D.S.031-2010-SA de “Calidad de Agua para Consumo Humano” mayor a 6.5 y menor a 8.5.

#### 4.3.2 Para dosis mayores a 50 UNT y menores de 150 UNT

Según los resultados obtenidos, se puede apreciar que el rango de las dosis óptimas para turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT, se encuentran entre 30 y 100mg/l, por lo tanto, coincidimos con (Schwarz, 2000) quien menciona que para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT la dosis óptima se encuentra entre 30 a 100 mg/l, esto también es corroborado por (Asrafuzzaman, et al., 2011) quienes menciona que para una turbiedad inicial de 100 UNT con una dosis óptima de 100 mg/l se logró una turbiedad final de 5.9 UNT estos resultados pueden deberse a que utilizaron para la mezcla rápida 200 – 250 RPM por 1-3 min, para la floculación utilizaron 30 – 40 RPM en un tiempo de 12 – 15 min y finalmente dejaron reposar para la sedimentación por un tiempo de 20 – 60 min., para todo esto se tuvo en cuenta el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 99.76% a un nivel de confianza del 95% tal como se observa en la Tabla N° 37. Resultando como modelo la ecuación lineal siguiente:

$$\text{DOSIS} = 55.50195 + 0.39212 (\text{TURBIEDAD})$$

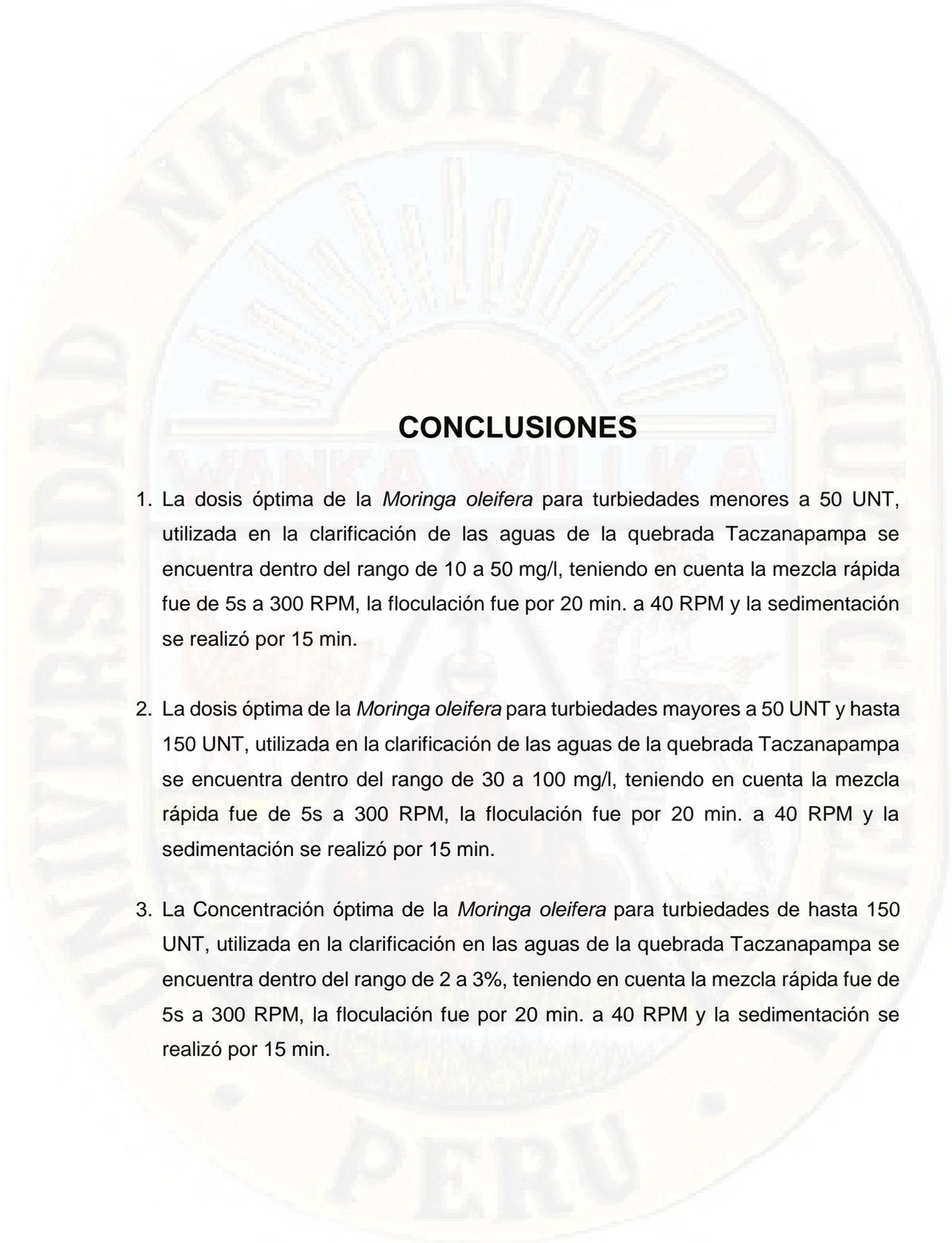
Al igual que el resultado anterior el comportamiento de las temperaturas y pH en las pruebas realizadas, para turbiedades mayores a 50 UNT y menores a 150 UNT, no tienen incidencia en cuanto al resultado de la utilización de la *Moringa oleifera* para hallar la dosis óptima, ya que en el caso de la temperatura su variación es de 0.1 °C a 0.2 °C y en el caso del pH la variación está dentro del rango estipulado por la norma D.S.031-2010-SA de “Calidad de Agua para Consumo Humano” mayor a 6.5 y menor a 8.5.

#### 4.3.3 Para concentraciones hasta 150 UNT

Según los resultados obtenidos, se puede apreciar que las concentraciones óptimas para turbiedades menores a 150 UNT, se encuentran en un rango de 2% a 3%, coincidiendo con (Del Valle, 2017) quien menciona que la *Moringa oleifera* obtuvo una eficiencia de 93% de remoción de sólidos suspendidos usando una concentración del 2%, para todo esto se tuvo en cuenta el coeficiente de determinación  $R^2$  de 93.10% a un nivel de confianza del 95% tal como se observa en la Tabla N° 40. Resultando como modelo la ecuación lineal siguiente:

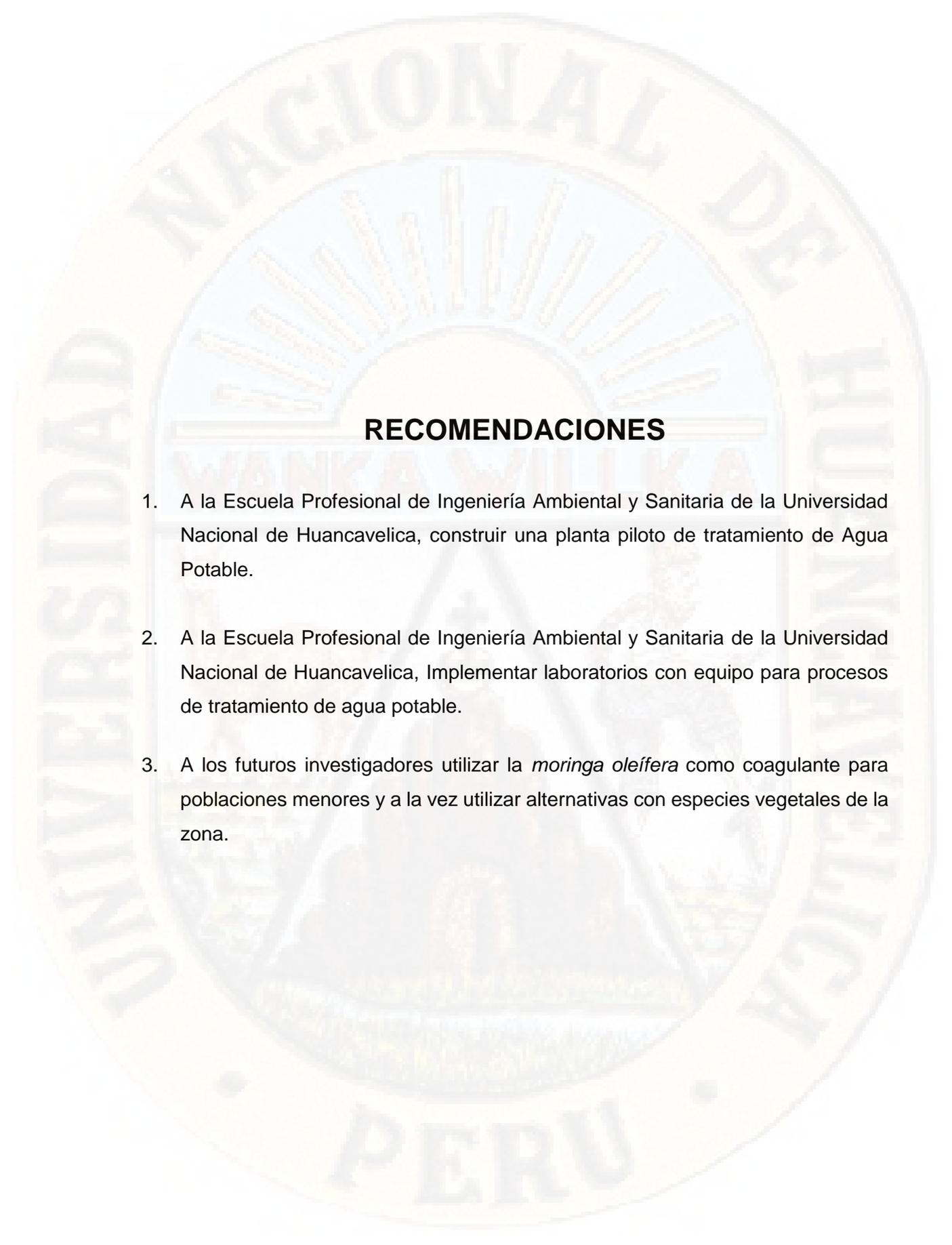
$$\text{CONCENTRACIÓN} = 5.22887 - 0.36698 (\text{TURBIEDAD}) + 0.01272 (\text{TURBIEDAD})^2 - 0.00015851 (\text{TURBIEDAD})^3 + 6.462249E - 7 (\text{TURBIEDAD})^4$$

De igual forma que los resultados anteriores el comportamiento de las temperaturas y pH en las pruebas realizadas, para turbiedades menores a 150 UNT, no tienen incidencia en cuanto al resultado de la utilización de la *Moringa oleifera* para determinar la concentración óptima, ya que en el caso de la temperatura su variación es de 0.1 °C a 0.3 °C y en el caso del pH la variación está dentro del rango estipulado por la norma D.S.031-2010-SA de “Calidad de Agua para Consumo Humano” mayor a 6.5 y menor a 8.5.



## CONCLUSIONES

1. La dosis óptima de la *Moringa oleifera* para turbiedades menores a 50 UNT, utilizada en la clarificación de las aguas de la quebrada Taczanapampa se encuentra dentro del rango de 10 a 50 mg/l, teniendo en cuenta la mezcla rápida fue de 5s a 300 RPM, la floculación fue por 20 min. a 40 RPM y la sedimentación se realizó por 15 min.
2. La dosis óptima de la *Moringa oleifera* para turbiedades mayores a 50 UNT y hasta 150 UNT, utilizada en la clarificación de las aguas de la quebrada Taczanapampa se encuentra dentro del rango de 30 a 100 mg/l, teniendo en cuenta la mezcla rápida fue de 5s a 300 RPM, la floculación fue por 20 min. a 40 RPM y la sedimentación se realizó por 15 min.
3. La Concentración óptima de la *Moringa oleifera* para turbiedades de hasta 150 UNT, utilizada en la clarificación en las aguas de la quebrada Taczanapampa se encuentra dentro del rango de 2 a 3%, teniendo en cuenta la mezcla rápida fue de 5s a 300 RPM, la floculación fue por 20 min. a 40 RPM y la sedimentación se realizó por 15 min.



## RECOMENDACIONES

1. A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica, construir una planta piloto de tratamiento de Agua Potable.
2. A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica, Implementar laboratorios con equipo para procesos de tratamiento de agua potable.
3. A los futuros investigadores utilizar la *moringa oleífera* como coagulante para poblaciones menores y a la vez utilizar alternativas con especies vegetales de la zona.

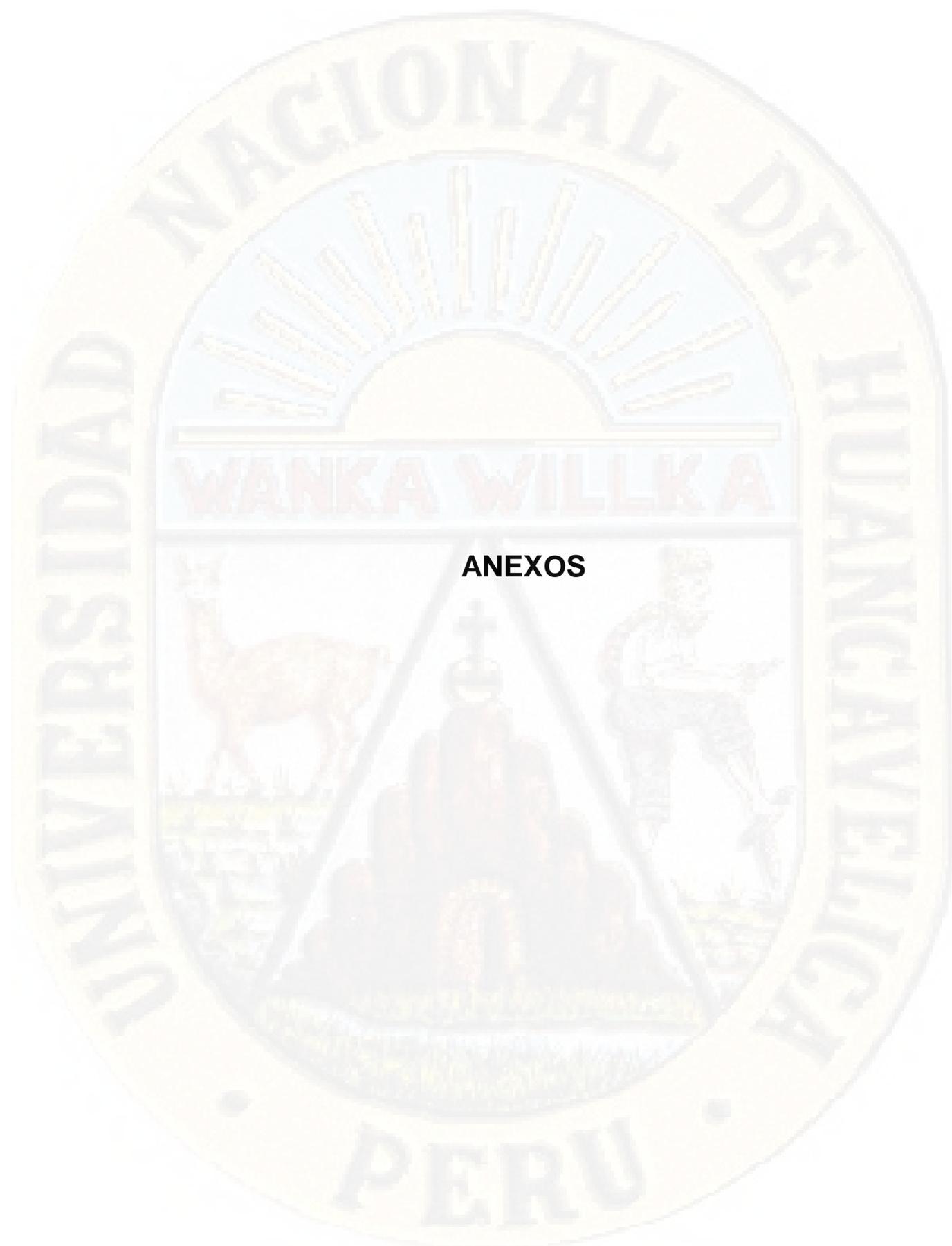
## REFERENCIAS

- Aguilar, M., Sáez, J., Lloréns, M., & Soler, A. O. (2002). *Tratamiento físico - químico de aguas residuales Coagulación Floculación*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Andía, Y. (2000). *Coagulación y Floculación*. Lima: SEDAPAL.
- Arnoldsson, E., Bergman, M., Matsinhe, N., & Persson, K. (2008). Assessment of drinking water treatment using *Moringa oleifera* natural coagulant. *Vatten*, 137-150.
- Asrafuzzaman, Fakhrudin, A., & A, H. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiology*, 3.
- Barrenechea, A. (2004). *Coagulación*. Lima: CEPIS.
- CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental .
- Ceron, I., & Garzon, N. (2015). *Evaluacion de la semilla de Moringa oleifera como coadyudante en el proceso de coagulacion para el tratamiento de aguas naturales del rio Bogotá en su paso por el municipio de Villapinzón, Cundinamarca*. Bogota D.C.
- Cerón, I., & Nadine, G. (2015). *Evaluacion de la Semilla de Moringa Oleifera como coadyudante en el proceso de coagulacion para el tratamiento de aguas naturales del río Bogota en su paso por el Municipio de Villapinzón, Cundinamarca*. Univeridad Libre, Bogota D.C.
- Dearmas, D., & Ramírez, L. (2015). Remocion de nutrientes mediante coagulantes naturales y quimicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista de Investigacion Agraria y Ambiental*, 183- 196.
- Del Valle, M. (2017). *Eficiencia de la remoción de sólidos suspendidos mediante el uso de biopolímeros en agua turbia del estero salado*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.

- Díaz, J. (2014). *Coagulantes - Floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados en plantas y del reciclaje de chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas*. Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán, Honduras.
- Duke, S. (2014). *La tierra y la Importancia del Agua*. Minnesota, United States of America: Rourke Editorial Media .
- Feria, J., Bermúdez, S., & Estrada, A. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleifera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 7-9.
- García, A., Bravo, L., Campos, G., & Medina, D. (2015). *Acción Antimicrobiana de la Pterigospermina de Moringa Oleifera sobre los contaminantes del agua y su efecto en el pH, turbidez y crecimiento microbiano*. Lima: REFI UPN.
- Gómez, K. (2010). *Eficiencia del coagulante de la semilla de Moringa Oleifera en el tratamiento de agua con baja turbidez*. Zamorano Honduras.
- Ingeniería y Gestión. (2012). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Empresa Editora Macro.
- Jodi, M., Birnin, U., Yahaya, Y., & Sokoto, M. (2012). The use of some plants in water purification . *Global Advanced Research Journal of Chemistry and Material Science*, 71-75.
- Lédo, P., Lima, R., Paulo, J., & Durante, M. (2009). Estudio comparativo de Sulfato de Aluminio y semillas de *Moringa Oleifera* para la depuración de aguas con baja turbiedad . *Información Tecnológica*, 7.
- Maldonado, A. (2018). *Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juningullo - La Mina, Moyobamba - San Martín*. Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Moyobamba - Perú.
- Maldonado, V. (2004). *Sedimentación* . Lima: CEPIS.
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de la calidad de aguas*. Madrid: Díaz de Santos.
- Martin, C., Martin, G., Garcia, A., Fernández, T., Hernandez, E., & Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. *Ministerio de Educación Superior. Cuba* , 7.
- Melo, G., & Turriago, F. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de Moringa Oleifera como una alternativa de bioremediación en la purificación superficiales del Caño Cola de Pato Ubicado en el Sector rural del Municipio de Acacias*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Colombia.
- Navas, E. (2017). *Calidad de Agua: Usos y Aprovechamiento*. Málaga: ICB.S.L(Interconsulting Bureau S-L).

- Navas, E. (2017). *Calidad de Aguas: Usos y Aprovechamiento*. España: ICB. S.L. (Interconsulting Bureau S.L.
- Ndabigengesere, A., & Narasiah, k. S. (1997). *Quality of Water Treated by Coagulation Using Moringa Oleifera Seeds*. Canada.
- Ojeda, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del Tropaeolum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS*. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Olivero, R., Florez, A., Vega, L., & Villegas, G. (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa Oleifera en la clarificación de aguas. *Produccion + Limpia* , 71-79.
- Olson, M., & Fahel, j. (2011). *Moringa Oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas*. *Revista Mexicana de Biodiversidad.*, 82:1071-1082.
- Orellana, J. (2005). *Características del agua potable*. Rosario, Argentina: Ingeniería Sanitaria-UTN - FRRO.
- Organización panamericana de la salud. (1988). *Guías para la Calidad del Agua Potable*. Washington, DC: Publicación Científica.
- Ospina, Ó., & Ramírez, H. (2011). Tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por medio de fotoquímicos. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 7-17.
- Paredes, P. (2013). El uso de *Moringa oleifera* como material natural para el tratamiento del agua potable en países en vía de desarrollo. *Revista Científica YACHANA*, 4.
- Pérez, L. (2005). *Teoría de la sedimentación*. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Quiros, N., Vargas, M., & Jiménez, J. (2010). *Extracción y análisis de polímeros obtenidos a partir de varios productos naturales, para ser usados como potenciales floculantes en el tratamiento de agua para consumo humano*. Costa Rica: CIPA .
- Ramavandi, B. (2014). *Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from Plantago ovata*. Bushehr, Iran.
- Ramirez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Facultad de ciencias básicas*, 14.
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación - floculación en un planta de tratamiento de agua potable*. Medellín - Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ridwan, M., Nor, A., Chan, P., & Hamidin, N. (2011). Mechanism of turbidity and hardness removal in hard water sources by using *Moringa Oleifera*. *Journal of Applied Sciences* , 2947-2953.

- Rivera, A. (2012). *Uso del extracto de la semilla de Moringa Oleifera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: Consorcio Digital del Conocimiento MebLatam Hemisferio y Dalse.
- Rodriguez, C. (1995). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Santafe de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rodriguez, S., Muñoz, R., García, O., & Fernandez, E. (2005). Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. *CENIC Ciencias Químicas*, 4.
- Romero, J. (1996). *Acuiquímica*. Santafé de Bogota, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (2005). *Calidad del agua*. Santafe de Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Samaque, M. (2017). *Evaluación de la cncentracion optima de la utilizacion de la semilla Moringa Oleifera "Moringa" en la clarificación del proceso de una bebida alcoholica de passiflora edulis "Maracuya"*. Amazonas: Repositorio UNTRM.
- Sánchez, Y., Martínez, G., Sinagawa, S., & Vazquez, J. (2013). *Moringa oleifera*, Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5.
- Sandoval, M., & Laines, J. (2013). Moringa una alternativa para sustituir coagulantes metalicos en el trataminto de aguas superficiales. *Revista Academica Ingeniería*, 93-101.
- Schwarz, D. (2000). Water clarification using *Moringa Oleifera*. *Gate Technical Information*, 3.
- Tenorio, E., Nuñez, E., & Guzmán, R. (2008). *Validacion de la aplicacion de la semilla de moringa oleifera producida en el sur de Honduras como coagulante natural del agua destinada a consumo humano en la Región del Yeguaré Honduras*. Honduras: PRIDE.
- Tumbaco, D., & Acebo, K. (2018). *Eficiencia de biocoagulane a base de semillas de Moringa Oleifera para aplicacion de tratamiento de aguas usando como fuente de captacion el rio Guayas*. Guayaquil - Ecuador: Repositorio Nacional en Ciencia y Tecnología.
- Vargas, L. (2004). *Floculación*. Lima: CEPIS.
- Vela, C. (2016). *Disminucion de la turbidez utilizando coagulante antural Moriga Oleifera en aguas obtenidas del rio Alto Chicama puente Ingón, Trujillo*. Trujillo: Universidad César Vallejo.



**ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DEL COAGULANTE DE *Moringa oleifera* EN LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DE LA QUEBRADA TACZANAPAMPA DE LA CIUDAD DE HUANCAMELICA

Tabla 41  
Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE	METODOLOGÍA
¿Cuál es la dosis y concentración óptima del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica?	Determinar la dosis y concentración óptima del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.	La dosis óptima se encuentra dentro del rango de 10 a 100 mg/l y la concentración óptima de 2 a 3% del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.	<b>Variable Dependiente:</b> dosis y concentración óptima del coagulante de <i>Moringa oleifera</i>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> APLICADA
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS		<b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</b> EXPLICATIVO
¿Cuál es la dosis óptima para turbiedades menores a 50 UNT del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica?	Identificar la dosis óptima para turbiedades hasta 50 UNT del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.	La dosis óptima para turbiedades menores a 50 UNT, se encuentra dentro del rango de 10 a 50 mg/l del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.		
¿Cuál es la dosis óptima para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica?	Identificar la dosis óptima para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.	La dosis óptima para turbiedades mayores a 50 UNT hasta 150 UNT, se encuentra dentro del rango de 30 a 100 mg/l del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.	<b>Variable Independiente:</b> clarificación del agua	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA:</b> AGUAS DE LA QUEBRADA DE TACZANAPAMPA
¿Cuál es la concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica?	Identificar la concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.	La concentración óptima para turbiedades hasta 150 UNT, se encuentra dentro del rango de 2 a 3% del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica.		

Fuente: Elaboración propia

## FOTOGRAFÍAS



QUEBRADA DE TACZANAPAMPA EN ÉPOCA DE LLUVIA



DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA TURBIEDAD Y pH DE LA MUESTRA



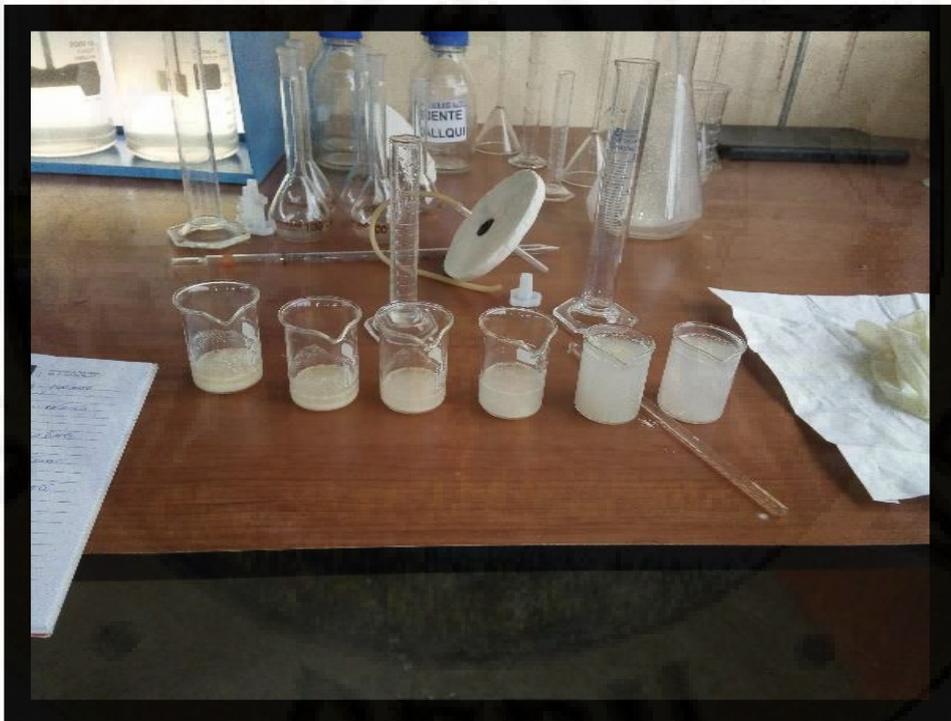
MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE LA *Moringa oleifera*



MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE LA *Moringa oleifera* EN UNA BALANZA ANALÍTICA



PREPARACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE *Moringa oleifera* A UNA CONCENTRACIÓN DEL 2%



PREPARACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE *Moringa oleifera* A UNA CONCENTRACIÓN DEL 2%



LLENADO DE LAS MUESTRAS EN LOS VASOS DE LA PRUEBA DE JARRAS



JERINGAS CON DOSIS PARA SER VERTIDOS A CADA VASO TODOS A LA VEZ PARA INICIAR LA MEZCLA RÁPIDA A 300 RPM POR 5 SEGUNDOS



ETAPA DE FLOCULACIÓN POR 20 MIN A 40 RPM



RETIRADO DE LAS JARRAS DEL EQUIPO PARA LA ETAPA DE SEDIMENTACIÓN DURANTE 15 MINUTOS



PROCESO DE SEDIMENTACIÓN AL INICIO DURANTE 15 MINUTOS



PROCESO DE SEDIMENTACIÓN AL FINAL



RETIRO DE MUESTRAS PARA ANALIZAR LA TURBIEDAD, TEMPERATURA Y pH



MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y pH



MEDICIÓN DE LA TURBIDEZ