



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

*“MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE PARA LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TUNDAYME - CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”*

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniera Ambiental

AUTORA: JESSICA PAMELA GUTIÉRREZ GARCÍA  
TUTORA: BQF. ANGÉLICA GEOVANNA ZEA COBOS, MSc.

Cuenca - Ecuador

2022

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Jessica Pamela Gutiérrez García con documento de identificación N° 0105363386 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 18 de julio del 2022

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
**JESSICA PAMELA  
GUTIERREZ  
GARCIA**

---

Jessica Pamela Gutiérrez García

0105363386

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jessica Pamela Gutiérrez García con documento de identificación N° 0105363386, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Artículo Académico: “*Moringa Oleifera* como coagulante para la disminución de la turbidez en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tundayme - cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de julio del 2022

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
**JESSICA PAMELA  
GUTIERREZ  
GARCIA**

---

Jessica Pamela Gutiérrez García

0105363386

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Angélica Geovanna Zea Cobos con documento de identificación N° 0103638730, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “*MORINGA OLEIFERA* COMO COAGULANTE PARA LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TUNDAYME - CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”, realizado por Jessica Pamela Gutiérrez García con documento de identificación N° 0105363386, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de julio del 2022

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Geovanna Zea', is written over a horizontal line.

Bqf. Angélica Geovanna Zea Cobos, Msc.

0103638730

## DEDICATORIA

*A mis amados padres, a quienes les debo todo; el amor, los valores, el impulso, la motivación, el cuidado, la protección, los desvelos, y sobre todo el sacrificio que han hecho por mí y por mis hermanos, las palabras se evaporan, el nudo que atraviesa mi garganta al escribir esto, no tiene explicación, solo siento una gran emoción y un profundo agradecimiento por tenerlos a ustedes como padres, no hay manera. Ni una sola palabra que pueda expresar el infinito amor y agradecimiento que siento hacia ustedes por todo lo hermoso que me han dado.*

*En este momento los recuerdos tocan mi corazón, recuerdos hermosos de cuando era niña y ustedes siempre ahí, junto a mí, impulsándome a cumplir cualquier cosa que me propusiera, desde siempre, no hay día que no agradezca a Dios por la oportunidad que me dio de tener unos padres tan especiales como ustedes, que me han ayudado tanto a realizar mis sueños a pesar de que más de una vez me caí, gracias por no dejar de creer y ayudarme a levantarme y seguir luchando día a día.*

*Esta etapa que hoy finaliza, se la dedico únicamente a ustedes como una pequeña compensación a su esfuerzo, a su amor y sobre todo al sacrificio que me han brindado, lo blanco de sus cabellos, señal de los años dorados que pasan por sus vidas y siempre han estado ahí para mí, seguiré a su lado para seguirlos amando y venerando por siempre. Gracias infinitas gracias viejitos de mi alma. ESTO ES POR USTEDES Y PARA USTEDES Papi James y Mami Star.*

*Su hija que los ama infinitamente.*

*- Pamela Gutiérrez García.*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios y a la Virgen María, por no dejarme desistir, por escuchar mis oraciones y las de mi mamá. La gratitud no me alcanza, gracias por todo lo que han hecho en mí y espero que jamás me abandonen, gracias por permitirme superarme, crecer y graduarme.*

*A mi ángel de cielo, René Patricio que está presente en cada momento de mi vida, gracias por cuidarme, guiarme y bendecirme. Te amo y te extraño más que nunca.*

*A mi ángel terrenal, Milton Sebastián, mi gran amor. Gracias por tomar mi mano y no soltarla, gracias por abrir mis alas para volar, sin duda alguna has sabido estar conmigo en cada paso de mi vida, gracias por creer en mí, por apoyarme, guiarme y sostenerme cuando más te he necesitado. Te amo tanto.*

*A mis hermanos Milton, Janneth, Marcia, Guido, Moisés, y mi cuñado Esteban, quienes me han demostrado que no pude haber tenido mejores hermanos que ellos, gracias por todo su apoyo.*

*A mis sobrinos/as, que me han apoyado todos los días. Gracias estar siempre.*

*A mi tutora, la Dra. Geovanna Zea, por haberme guiado en este proyecto, en base a su experiencia y sabiduría ha sabido direccionar mis conocimientos, sin su ayuda no hubiese sido posible llegar hasta aquí. Gracias por su confianza depositada en mí.*

*Al Municipio de El Panguí por abrirme las puertas de este hermoso lugar y sobre todo a la Ing. Jessica Sari, encargada de la PTAP de Tundayme, por su colaboración y brindarme todos los medios suficientes a lo largo de la investigación.*

*A la Ing. Sandy Gavilanes y al Ing. Marlon Loayza, por compartir sus conocimientos que han adquirido a lo largo de su vida profesional, gracias por su constante apoyo, sus indicaciones y orientaciones indispensables en el desarrollo de este trabajo. Quisiera destacar y agradecer la buena actitud y el compromiso con los estudiantes que los caracteriza.*

*A mis amigas y colegas que siempre fueron un apoyo incondicional dentro y fuera de las aulas a lo largo de la carrera, Jennifer Cajamarca, Cristina González, Mayra Gualán, Lizbeth Huanca y Evelyn Merchán.*

*A mis amigas, gracias por no dejarme caer, por insistir, por escucharme y sobre todo por levantarme mil y una veces. Andrea Amay, Vielka Naula, Belén Peralta, Mariela Pinos.*

*A mis dos grandes amigos que me ha dejado mi larga vida universitaria. Mayra García y Alfonso Contreras, gracias por seguir aquí.*

## RESUMEN

El presente Trabajo de Titulación tiene como finalidad, demostrar la eficacia de la Moringa Oleifera como coagulante para la disminución de la turbidez en la planta de tratamiento de agua potable Tundayme - cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe. tomando en cuenta que esta zona es altamente minera por la presencia del proyecto minero de cobre a cielo abierto “El mirador”, siendo este el más grande registrado a nivel nacional. Por consiguiente, en temporadas invernales los niveles de turbidez incrementan notoriamente ya que el agua que ingresa a la planta recorre toda la Cordillera del Cóndor y sus aguas se tornan un color marrón- rojizo.

Consecuentemente para encontrar beneficio de utilizar semillas de Moringa Oleifera como coagulante se realizaron muestreos in-situ, para posteriormente caracterizar varios parámetros como: pH, Turbidez, alcalinidad, Color, Conductividad, TDS, OD y Salinidad.

Con esta finalidad se realizó pruebas de jarras comparando la utilización de la Moringa Oleifera con el coagulante tradicional que en este caso es el Sulfato de Aluminio, dándonos como resultados que en una turbidez promedio de 227.33 NTU aplicando Moringa Oleifera como coagulante obtuvimos una turbiedad promedio de 5.5 NTU, en un tiempo estimado de 40 minutos. demostrando así que es muy factible optar por nuevos coagulantes de origen natural que no causan daños en la salud ni al ambiente y además son de bajos costos.

**Palabras clave:** Caracterización, in-situ, alcalinidad, turbidez, coagulante

## ABSTRACT

The purpose of this Titling Work is to demonstrate the efficacy of *Moringa Oleifera* as a coagulant for the reduction of turbidity in the Tundayme drinking water treatment plant - El Panguí canton, Zamora Chinchipe province. taking into account that this area is highly mining due to the presence of the open-pit copper mining project "El mirador", this being the largest registered at the national level. Therefore, in winter seasons, the turbidity levels increase markedly since the water that enters the plant runs through the entire Cordillera del Cóndor and its waters turn a reddish-brown color.

Consequently, in order to find the benefit of using *Moringa Oleifera* seeds as a coagulant, in-situ sampling was carried out to later characterize several parameters such as: pH, Turbidity, alkalinity, Color, Conductivity, TDS, DO and Salinity.

With this purpose, jar tests were carried out comparing the use of *Moringa Oleifera* with the traditional coagulant, which in this case is Aluminum Sulfate, giving us as results that in an average turbidity of 227.33 NTU applying *Moringa Oleifera* as coagulant, we obtained an average turbidity of 5.5 NTU, in an estimated time of 40 minutes. thus demonstrating that it is very feasible to opt for new coagulants of natural origin that do not cause damage to health or the environment and are also inexpensive.

**Keywords:** Characterization, in-situ, alkalinity, turbidity, coagulant

## TABLA DE CONTENIDO

1.3	Descripción del problema .....	30
1.4	Justificación del problema .....	30
1.5	OBJETIVOS .....	32
1.5.1	Objetivo General .....	32
1.5.2	Objetivos Específicos .....	32
2.	MARCO TEÓRICO .....	33
2.1	Ubicación .....	33
2.2	Políticas y normativa vigente.....	34
2.2.1	Internacional.....	34
2.2.2	Nacional .....	35
2.2.3	De la provisión de servicios públicos de agua y saneamiento.....	36
2.2	Parámetros de calidad del agua.....	38
2.2.1	Caudal .....	39
2.2.2	pH.....	40
2.2.3	Temperatura .....	41
2.2.4	Sólidos en suspensión.....	41
2.2.5	Turbidez .....	41
2.2.6	Conductividad .....	42
2.2.7	Color.....	42

2.2.8 Alcalinidad .....	43
2.2.9 Solidos totales disueltos .....	43
2.2.10 Oxígeno Disuelto.....	44
2.2.11 Salinidad.....	45
2.3 Criterios internacionales de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico .....	46
2.4 Criterios nacionales de calidad del agua para consumo humano y uso doméstico.....	47
2.5 Sistemas de Agua Potable.....	48
2.6 Impurezas existentes en el agua.....	49
2.7 Clarificación del agua .....	49
2.8 Procesos de remoción de la turbiedad.....	50
2.8.1 Floculación.....	50
2.8.2 Coagulación.....	50
Moringa Oleífera como coagulante .....	52
Caracterización de la Moringa .....	53
Antecedentes de estudios realizados con coagulantes orgánicos .....	54
Prueba de JAR TEST .....	55
Estado del arte.....	56
3 METODOLOGÍA .....	61
3.1 Delimitación de la zona de estudio .....	61

3.2	Muestreo in-situ para caracterización de agua de la PTAP .....	63
3.3	Caracterización del agua en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana Sede – Cuenca. ....	68
3.4	Medición de parámetros.....	70
3.4.1	pH .....	70
3.4.2	Turbidez.....	71
3.4.3	Alcalinidad .....	72
3.4.4	Conductividad.....	82
3.4.5	Color .....	83
3.4.6	Oxígeno Disuelto (OD) .....	84
3.4.7	Sólidos totales disueltos (TDS) .....	87
3.4.8	Salinidad.....	88
3.5	Obtención de la pasta de Moringa Oleífera (M. Oleífera) para su utilización como coagulante natural.....	90
1.5	Preparación de la semilla de Moringa Oleífera. ....	93
1.6	Desengrasado de las semillas de Moringa Oleífera .....	106
1.7	Extracción del coagulante.....	119
2.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	134
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	147
4.	BIBLIOGRAFÍA.....	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	28
Mapa de la provincia de Zamora Chinchipe.....	28
Figura 2.....	29
Mapa del Cantón El Pangui.....	29
Figura 3.....	34
Mapa de la parroquia Tundayme.....	34
Figura 4.....	62
Levantamiento topográfico PTAP Tundayme.....	62
Figura 5.....	63
PTAP de Tundayme.....	63
Figura 6.....	64
Reconocimiento de PTAP de Tundayme.....	64
Figura 7.....	65
Medición de turbidez.....	65
Figura 8.....	66
Medición in-situ de pH y temperatura.....	66
Figura 9.....	67
Recolección de muestras in-situ.....	67

Figura 10.....	68
Quebrada Laveno.....	68
Figura 11.....	71
Medición de pH. ....	71
Figura 12.....	72
Medición de Turbidez.....	72
Figura 13.....	74
Ácido utilizado .....	74
Figura 14.....	75
Medición de Ácido Sulfúrico .....	75
Figura 15.....	76
Toma de Ácido con micropipeta .....	76
Figura 16.....	77
Adición de Ácido al agua destilada .....	77
Figura 17.....	78
Adición de Agua destilada hasta 1000 ml .....	78
Figura 18.....	79
Ácido Sulfúrico 0.002 N.....	79
Figura 19.....	80
Proceso de Titulación .....	80

Figura 20.....	81
Agregamos naranja de metilo a la muestra.....	81
Figura 21.....	82
Valoración de la Solución.....	82
Figura 22.....	83
Conductividad.....	83
Figura 23.....	84
Medición de Color .....	84
Figura 24.....	85
Kit para medir OD .....	85
Figura 25.....	86
Rosado soluble de EDTA y Mn (III) .....	86
Figura 26.....	87
Fotómetro 680 .....	87
Figura 27.....	88
Medición de TDS .....	88
Figura 28.....	89
Medición de Salinidad .....	89
Figura 29.....	91
Mapa del cantón Salinas .....	91

Figura 30.....	94
Vainas de Moringa Oleifera .....	94
Figura 31.....	95
Semillas de M. Oleifera .....	95
Figura 32.....	96
Proceso de descascarar .....	96
Figura 33.....	97
Semillas de moringa secado en presencia de luz solar. ....	97
Figura 34.....	98
Semillas con cascara de M. Oleifera para estufa .....	98
Figura 35.....	99
Peso de semillas con cascara sin secado.....	99
Figura 36.....	100
Peso de semillas después de pasar por la estufa .....	100
Figura 37.....	101
Cascaras de la semilla.....	101
Figura 38.....	102
Analizador de humedad .....	102
Figura 39.....	103
Molido de semillas .....	103

Figura 40.....	104
Moringa molida .....	104
Figura 41.....	105
Peso de moringa molida .....	105
Figura 42.....	106
Moringa en polvo .....	106
Figura 43.....	108
Moringa sin desengrasar.....	108
Figura 44.....	109
Sobres de papel filtro con polvo de M. Oleifera .....	109
Figura 45.....	110
Sobres de Moringa en extractor de equipo Soxhlet.....	110
Figura 46.....	111
n-Hexano .....	111
Figura 47.....	112
Medición de n-Hexano para balones de equipo Soxhlet .....	112
Figura 48.....	113
135 ml en balón de equipo Soxhlet .....	113
Figura 49.....	114
Equipo Soxhlet armado .....	114

Figura 50.....	115
Sobres de Moringa después de 24 h. ....	115
Figura 51.....	116
Moringa sin grasa sin secar .....	116
Figura 52.....	117
Secado en estufa de moringa desengrasada.....	117
Figura 53.....	118
Moringa desengrasada seca .....	118
Figura 54.....	119
Recuperación de n-Hexano en Rotavapor .....	119
Figura 55.....	120
Materiales extracción de coagulante.....	120
Figura 56.....	121
Solución salina de NaCl .....	121
Figura 57.....	122
Polvo de semilla con y sin grasa.....	122
Figura 58.....	122
Mezcla de solución salina con coagulante.....	122
Figura 59.....	123
Colocación de muestras en frascos falcon.....	123

Figura 60.....	124
Centrifugación de muestras .....	124
Figura 61.....	125
Centrifugación a 2000 rpm por 30 min .....	125
Figura 62.....	126
Equipo de Extracción al vacío .....	126
Figura 63.....	127
Proceso de extracción al vacío .....	127
Figura 64.....	128
Coagulantes .....	128
Figura 65.....	131
Turbidez antes de aplicar Jar Test .....	131
Figura 66.....	132
Disminución de turbidez mediante Jar Test .....	132
Figura 67.....	132
Funcionalidad de Jar Test.....	132
Figura 68.....	133
Turbidez post-tratamiento.....	133
Figura 69.....	135
Conductividad.....	135

Figura 70.....	135
pH .....	135
Figura 71.....	136
Color .....	136
Figura 72.....	136
Alcalinidad .....	136
Figura 73.....	137
Solidos Suspendidos Totales .....	137
Figura 74.....	137
Oxígeno Disuelto.....	137
Figura 75.....	138
Salinidad .....	138
Figura 76.....	143
Tratamiento.....	143

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .....	27
Coordenadas de la ubicación de la zona de estudio.....	27
Tabla 2 .....	33
Límites de la parroquia Tundayme .....	33
Tabla 3 .....	39
Parámetros de la calidad del agua.....	39
Tabla 4 .....	44
Rangos de la calidad del agua según TDS.....	44
Tabla 6 .....	46
Parámetros internacionales de calidad del agua .....	46
Tabla 7 .....	47
Parámetros de calidad de Agua Potable .....	47
Tabla 8 .....	55
Estudios de coagulantes orgánicos .....	55
Tabla 9 .....	134
Estadístico.....	134
Tabla 10 .....	139
Condiciones evaluadas .....	139
Tabla 11 .....	141

Estadísticos descriptivos de la turbiedad .....	141
Tabla 12 .....	142
ANOVA de medidas repetidas .....	142
Tabla 13 .....	143
Between Subjects Effects .....	143
Tabla 14 .....	144
Assumption Checks .....	144
Tabla 15 .....	145
PostHoc Comparisons - RM Factor 1 .....	145
Tabla 16 .....	146
PostHoc Comparisons - Tratamiento.....	146
Tabla 17 .....	147
Simple Main Effects .....	147

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 .....	40
Caudal del Agua .....	40

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Problema**

La parroquia Tundayme cuenta con alcantarillado sanitario con una cobertura del 60.00%, el servicio de agua potable es del 77% y 0.00% de red de alcantarillado pluvial. La población actual que es servida tanto por los servicios de agua potable y alcantarillado es de 600 habitantes; esta parroquia se encuentra en el cantón “El Panguí”.(Diseños et al., 2013)

El clima del área de estudio corresponde a un clima del templado, con temperaturas promedio de 20°C, existen dos estaciones que son invierno y verano. En la cabecera parroquial de Tundayme la mayor de la población es mestiza proveniente de varios sectores de la región sur del Ecuador, existe una pequeña parte es nativa; la mayor parte se dedica a la agricultura, ganadería y últimamente se encuentran prestando sus servicios como mano de obra no calificada en la empresa ECSA.

La problemática del cantón, a pesar de ser general en algunos casos, es concordante con la problemática de la parroquia, destacándose la contaminación, deforestación, peligro por inundaciones, pérdida de cultura, deficiente alimentación de grupos de atención prioritaria, población con bajos conocimientos técnicos, deficiente calidad y cantidad de producción agropecuaria, falta de servicios básicos, falta de mantenimiento de vías, inexistente transporte hacia las comunidades, carencia de organización y liderazgo, escaso conocimiento de ordenamiento territorial, entre otros.

En la PTAP-Tundayme, el agua que ingresa tiene un color rojizo marrón, a simple vista se podría determinar que se debe a la presencia de altas concentraciones de

minerales, pero estudios realizados por consultores ambientales a cargo de la misma afirman que el agua no contiene excesivas cantidades de minerales que produzcan este color que esta no es su causa, que más bien esto se debe a que el agua que llega a la planta recorre gran cantidad de la cordillera del cóndor mediante escorrentía la misma que produce putrefacción de tallos y raíces de diversa flora existente que produce el color rojizo marrón (PUCHA, 2013a).

Por lo general, en un proceso de tratamiento del agua, se usa el sulfato de aluminio como coagulante y se ha demostrado que es un buen coagulante para eliminar la turbidez y el color. Sin embargo, el color que tiene el afluente que ingresa a la PTAP, es uno de los principales problemas ya que la dosis de sulfato de aluminio aplicada no ha logrado clarificarla en su totalidad, y se debe controlar el uso de sales de aluminio porque pueden dejar cierta cantidad de residuos de aluminio en el agua tratada, lo que puede ser importante si se considera la cantidad de agua que se consume a diario y los problemas de salud que puede ocasionar (PUCHA, 2013a).

El aluminio residual en el agua potable puede ser perjudicial para la salud porque puede afectar gravemente al sistema nervioso central. Las investigaciones realizadas han demostrado que existe una relación entre el patógeno de la enfermedad de Alzheimer y la concentración de aluminio en el cuerpo humano, además de que también puede provocar un envejecimiento prematuro (Olivero Verbel et al., 2017). En los últimos años, las personas se han interesado cada vez más por algunas enfermedades típicas de la insuficiencia renal crónica y el tratamiento regular de hemodiálisis. Los dos síndromes más destacados que pueden tener estas personas son la encefalopatía por diálisis y la

osteodistrofia por diálisis, que están relacionados con la intoxicación por aluminio (Barajas et al., 2015).

Considerando el alto costo de purificación y el aluminio residual que puede existir en el agua tratada, es razonable evaluar la efectividad de las especies vegetales como coagulante de purificación. Una de las especies es la Moringa oleífera, que se ha utilizado con éxito como coagulante en el tratamiento de aguas en otros países. Por otro lado, esta planta se encuentra ampliamente distribuida en áreas de bosque seco tropical y puede reproducirse fácilmente incluso en lugares donde la reproducción de otras especies es limitada. (Hernández Bojorge et al., 2017). Dado esto, sus niveles de turbidez requieren de coagulación, que utiliza productos químicos costosos. Los coagulantes naturales como la Moringa Oleífera (M. Oleífera) representan una alternativa sostenible, económica y segura para la potabilización. (Jairo et al., n.d.)

## **1.2 Delimitación**

### **1.2.1 Delimitación en tiempo de estudio**

El estudio de la efectividad de la semilla de la Moringa Oleífera (M. Oleífera), como coagulante natural para la eliminación de turbidez en la PTAP de la Parroquia Tundayme, Cantón “El Pangui, se realizó muestreo in-situ para estas muestras ser llevadas para su evaluación de parámetros fisicoquímicos del agua, preparación y comprobación del coagulante natural mediante tecnología “Jar Test” en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana. Para posteriormente realizar pruebas in-situ y verificar su eficacia. Este proyecto tuvo una durabilidad de seis meses.

### 1.2.2 Delimitación geográfica

La PTAP- Tundayme se ubica en la parroquia Tundayme, cantón el Panguí, provincia de Zamora Chinchipe, se encuentra a una distancia de 25 km de la ciudad de El Panguí, situada en la cabecera del cantón El Panguí, la altura promedio es de 820 msnm

**Tabla 1**

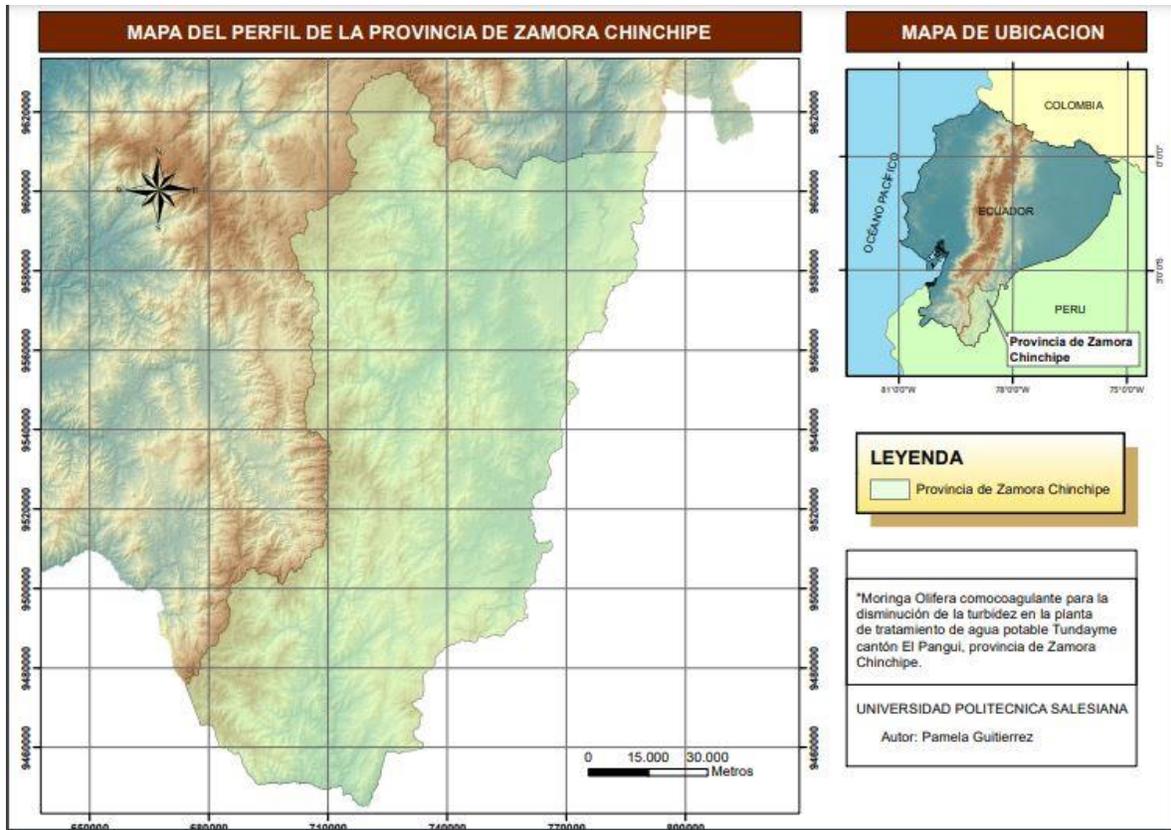
*Coordenadas de la ubicación de la zona de estudio*

PROVINCIA	ALTITUD	LONGITUD
Zamora Chinchipe	9'604.480.00	E778.359.00

Fuente: Autor

**Figura 1**

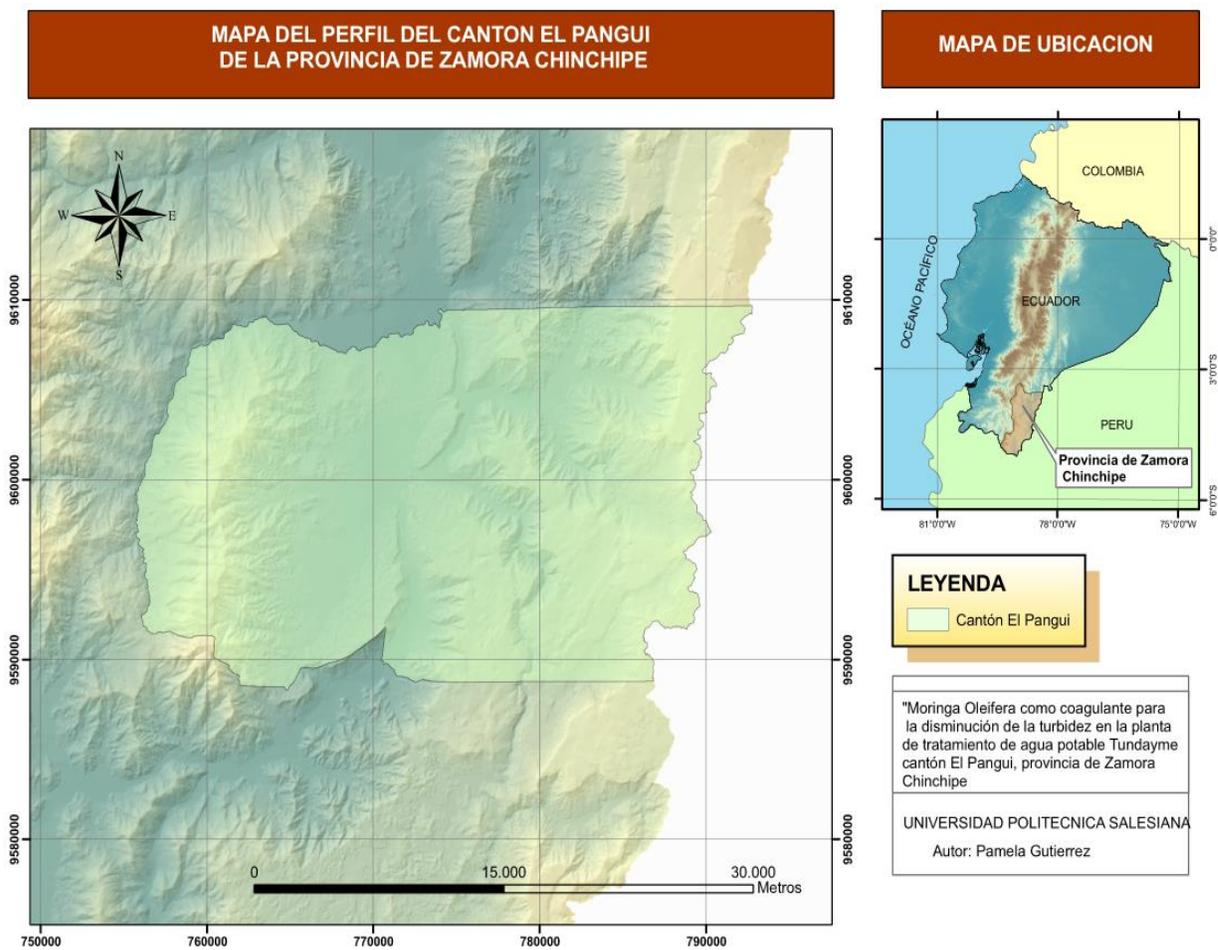
*Mapa de la provincia de Zamora Chinchipe*



Fuente: Autor

**Figura 2.**

*Mapa del Cantón El Pangui*



Fuente: Autor

### **1.3 Descripción del problema**

En épocas de lluvias, a lo largo de la Cordillera del Cóndor, los caudales aumentan y traen consigo vegetación que llegan a un estado de putrefacción por lo que ocasionan que las aguas abajo tomen un color rojizo-marrón, por lo que es indispensable eliminar su turbidez para la potabilización de estas aguas para el uso de consumo humano; por lo que se requiere buscar soluciones de coagulantes naturales, en este caso el uso de las semillas de *Moringa Oleífera* (M. Oleífera), para disminuir el excesivo uso de coagulantes químicos (Sulfato de Aluminio) y así evitar a largo plazo enfermedades en los habitantes de la parroquia.

### **1.4 Justificación del problema**

El sulfato de aluminio es el coagulante más utilizado en el tratamiento del agua debido a su alta eficiencia y bajo costo, el cual podría inducir a largo plazo la enfermedad de Alzheimer.

Por lo tanto, es viable el uso de coagulantes naturales por lo que son biodegradables y más seguros para la salud humana. Se han realizado varios estudios en otros países con la semilla de *Moringa Oleífera*, como alternativa para la potabilización del agua, posee una propiedad coagulante natural que le otorga la capacidad de purificar el agua turbia. La mezcla del coagulante cargado positivamente con agua impura comprime la bicapa de las partículas coloidales que flotan en él y produce la neutralización del potencial electrostático de la superficie de la partícula. Las partículas desestabilizadas se unen entre sí para formar estructuras sólidas conocidas como flóculos que se hunden hasta el fondo del recipiente por la fuerza de la gravedad. Los microorganismos patógenos adheridos a

estas partículas coloidales descienden con los flóculos y de esta manera el agua se purifica.

La orientación al uso de elementos naturales para el tratamiento del agua sugiere monitorear y controlar la presencia de Aluminio en el agua potable y romper el paradigma de su uso, que, como en el caso de la semilla de *Moringa Oleífera*, representa un coagulante eficiente y seguro. en el proceso de potabilización del agua considerando sus propiedades floculantes y su probada eficacia y justificando su uso como alternativa ambientalmente correcta.

La efectividad de las semillas de *Moringa Oleífera* para la remoción de materia en suspensión en aguas turbias, constituye una alternativa de biorremediación efectiva, constituyendo un excelente insumo para el tratamiento de la turbidez del agua en zonas rurales y en general para países en vías de desarrollo. logrando reducir el número de partículas en suspensión, logrando remover turbiedades mayores al 85%.

Con base en los detalles, existe la necesidad de evaluar el uso de coagulantes naturales (*Moringa Oleífera*) que puedan ser más efectivos, menos dañinos y amigables con el medio ambiente para remover la turbidez del agua, con el objetivo de reemplazar total o parcialmente el Sulfato de Aluminio que actualmente se utiliza como coagulante en el PTAP-Tundayme para la clarificación del agua.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Utilizar la pasta de *Moringa Oleífera* como coagulante para la disminución de turbidez del agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Parroquia Tundayme, Cantón El Pangui, Provincia de Zamora Chinchipe.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la calidad del agua de la planta de tratamiento pre y post implementación de la pasta de semilla de *Moringa Oleífera* mediante la medición de parámetros físico químicos.
- Preparar la pasta con Semillas de *Moringa Oleífera*, para verificar su efectividad como coagulante en muestras de agua mediante “Jar Test”.
- Comparar la efectividad de la disminución de la turbidez por el método químico (Sulfato de aluminio) y natural (*Moringa Oleífera*) mediante la metodología de Jar Test.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Ubicación

La PTAP se encuentra políticamente dentro de la parroquia de Tundayme, ubicado a 25 Km del cantón El Panguí (PUCHA, 2013b).

Los límites son los siguientes:

**Tabla 2**

*Límites de la parroquia Tundayme*

Norte:	Prov. Morona Santiago
Sur:	Cantón Los Encuentros
Este:	Cantones El Guismi y El Panguí
Oeste:	República de Perú.

Fuente: Autor



saneamiento para todos”, que busca como meta “mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial” (Naciones Unidas, 2018).

### **2.1.2 Nacional**

En lo que respecta a la calidad del agua en Ecuador, la Política Sectorial del Agua Establece dos grandes ejes dirigidos a proteger y mejorar la calidad del agua. Siendo el primero, conservar recuperar y gestionar de manera sostenible los ecosistemas generadores del agua; mientras que el segundo se enfoca en garantizar de manera progresiva el acceso de la población a agua limpia permanente y segura, además del suministro de agua para riego, que asegure la soberanía alimentaria, el caudal ecológico y las actividades productivas.

En Ecuador a partir del año 2016, se implementó la Estrategia Nacional de la calidad de Agua (ENCA), como un plan que regirá hasta el 2035, con la finalidad de alcanzar las metas planteadas en la Agenda 2030. Constituye un instrumento que busca articular acciones entre diferentes instituciones con el recurso hídrico y crear tendencias que permitan el desarrollo de planes de acción en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Plan Nacional del Buen Vivir (2013 - 2017), las Políticas Intersectoriales del Agua y el Plan Nacional de Gestión Integrado e Integral de los Recursos Hídricos de las Cuencas y Microcuencas Hidrográficas del Ecuador (SENAGUA, 2021).

Constitución de la República del Ecuador

Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, dentro de los cuales está el derecho

humano al agua para sus habitantes, planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al Buen Vivir. La Constitución de la República del Ecuador trata la problemática de la calidad del agua desde varias perspectivas, que se presentan adelante, de forma resumida:

### **2.1.3 De la provisión de servicios públicos de agua y saneamiento**

En los artículos 314 y 318 se establece que, el Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable. Únicamente las personas jurídicas estatales o comunitarias pueden prestar este servicio. En el artículo 66 numeral 2 el Estado reconoce y garantiza a las personas el derecho a una vida digna que asegure el derecho al agua potable entre otros. En el artículo 415 se plantea que “los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos” (Constitución de la Republica del Ecuador, 2021).

### **2.1.4 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUyA)**

El artículo 18 literal c) establece que, entre las atribuciones y responsabilidades de la Autoridad Única del Agua el “coordinar con la autoridad ambiental nacional y la autoridad sanitaria nacional la formulación de las políticas sobre calidad del agua y control de la contaminación de las aguas”, generando de esta manera el marco regulatorio que impulsa acciones interinstitucionales para fortalecer la gestión de la calidad del agua.

De igual manera, en el artículo 57 de la LORHUyA, “instaura como derecho humano al agua el derecho de todas las personas a “disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura”. Así como también, “el acceso al saneamiento ambiental que asegure la dignidad humana, la salud, evite la contaminación y garantice la calidad de las reservas de agua para consumo humano”.

El artículo 64 se establece que la naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación del agua, haciendo referencia a los descritos a continuación:

- La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;
- El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad;
- La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico; La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y, La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos (LORHUyA, 2014)

### **Código Orgánico del Ambiente**

Art. 26.- Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales las siguientes

facultades, que ejercerán en las áreas rurales de su respectiva circunscripción territorial, en concordancia con las políticas y normas emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional:

8. Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido;

Art. 38.- Objetivos. Las áreas naturales incorporadas al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, cumplirán con los siguientes objetivos:

5. Mantener la dinámica hidrológica de las cuencas hidrográficas y proteger los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas (COA, 2017).

## **2.2 Parámetros de calidad del agua**

La calidad del agua se comprende como la valoración de su naturaleza física, biológica y química en coherencia con su calidad natural, usos posibles y efectos humanos, el evaluar la calidad de las aguas es una materia amplia y compleja de acuerdo a los objetivos que se pretendan alcanzar, en base a ello se han formulado diferentes parámetros de calidad del agua (Zeas, 2018), los mismos que se describen a continuación en la tabla 1.

**Tabla 3***Parámetros de la calidad del agua*

Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Caudal	Sólidos disueltos	Sílice	Cobre
Temperatura	Sulfatos	Grasas	Arsénico
Oxígeno Disuelto	Magnesio	Cianuro	Hierro
Sólidos en suspensión	Cloruros	Fluoruros	Manganeso
Turbidez	Calcio	Fenoles	Plomo
pH	Potasio	Cromo hexavalente	Zinc
Conductividad	Sodio	Cadmio	Antimonio
Color	Nitritos	Mercurio	Níquel
Demanda Química de Oxígeno (DQO).	Nitratos		Selenio
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).	Fosfatos		
Coliformes totales	Carbonatos		
	Amoniaco		
	Carbonatos		
	Bicarbonatos		
	Detergentes		

---

Fuente: Libro Blanco del Agua en España, 2018.

### 2.2.1 Caudal

Conocido como su volumen, por ejemplo, la cantidad de litros que atraviesa una sección específica en un tiempo determinado. La medición del caudal o aforo se ha venido desarrollando de diferentes maneras con el paso de los años, su elección varía de acuerdo a

los objetivos del monitoreo, tiempo disponible y accesibilidad a equipos o herramientas. Siendo la recomendada para el presente estudio la medición de caudal por método volumétrico, mismo que se aplica cuando la corriente presenta una caída de agua en la cual es posible colocar un recipiente del cual conocemos su capacidad. Para ello se coloca el recipiente bajo la corriente de manera que pueda recolectar todo el flujo de agua, se empieza el conteo del tiempo en el momento exacto en que el recipiente es colocado en el flujo de agua, siendo importante tomar varias mediciones de tiempo para estimar un promedio (Valverde et al., 2018), el caudal se calcula empleando la siguiente ecuación:

### **Ecuación 1**

*Caudal del Agua*

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Caudal en litros por segundo, l/s

T = Tiempo en segundos, s

V = Volumen en litros, l

### **2.2.2 pH**

Es una forma de presentar la concentración del ion Hidrogeno, que permite conocer el nivel de acidez del agua, en un rango que varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio o neutro, es así que un pH menor a 7 indica acides, mientras que un pH mayor a 7 alcalinidad del agua o pH básico. El principio de la medición del pH es la medida electrométrica que se basa en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrogeno mediante el uso de

un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o a su vez uno combinado, para la medición del mismo el equipo ser calibrado de manera previa (Arciniega & Salazar, 2021).

### **2.2.3 Temperatura**

Esta se mide en grados centígrados (oC), si bien es cierto es uno de los parámetros más sencillos de medir, es muy importante ya que permite comprender de mejor manera otros parámetros analizados en los diferentes estudios, tales como oxígeno disuelto, conductividad y pH. El método comúnmente empleado para la toma este parámetro es el uso de un termómetro, el cual debe estar previamente calibrado (Valverde et al., 2018).

### **2.2.4 Sólidos en suspensión**

Conocidos como SST, es una medida de peso en seco de los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua, su análisis ese realiza a través del método gravimétrico, en el cual se seca en estufa a 105 oC y posteriormente se pesa y se mide como el total de sólidos suspendidos por la unidad de volumen del agua, para ello se expresa en mg/l. la principal dificultad de este método es el tiempo que tarda y el uso de equipos especializados en laboratorio. Se ha demostrado además en diferentes investigaciones que existe la posibilidad de crear una relación entre los SST y la medición óptica de la turbidez, lo cual da un paso para la medición de los SST a través de turbímetros con sistemas ópticos avanzados, lo que permitirá obtener datos de forma inmediata y en campo (Campos et al., 2019).

### **2.2.5 Turbidez**

Se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez y se expresa de la siguiente manera UNF/NTU. De acuerdo con lo dispuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS) este parámetro en el caso de agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, mientras que lo recomendados es mantener la turbidez menor a 1 NTU. Según la

norma nacional e internacional se presentan los siguientes métodos cuantitativos para la medida de la turbiedad: a) Nefelometría, permite medir la luz dispersa o difusa a 90°, se recomienda en aguas con baja turbidez y para la medición en aguas para consumo humano. B) Turbidimetría, consiste en la medición de la atenuación de un flujo de la luz transmitida sobre la atenuada a 180° utilizado en aguas altamente turbias, un ejemplo de ello es su aplicación en el análisis de parámetros de aguas residuales; se expresa como Unidades de Atenuación de Formazina (FAU), oscilando los resultados entre 40 FAU y 4,000 FAU (Campos et al., 2019).

### **2.2.6 Conductividad**

Es una medida de la capacidad de un líquido para conducir la electricidad, la cual incrementa cuando este posee electrolitos, en el agua la conductividad se mide con conductímetros que son materiales especiales de laboratorio que permiten conocer los niveles de conductividad eléctrica. La unidad de medida de la conductividad son los siemens por metro (S/m), en el caso de aguas con bajo contenido de electrolitos suele expresarse en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La medida de este parámetro es sencilla y económica, el análisis de este permite evaluar el desempeño de equipos y procedimientos para el tratamiento de aguas ya sea para consumo humano o residuales (Ahmad et al., 2021).

### **2.2.7 Color**

Depende de las diferentes sustancias que se encuentren disueltas en el agua, de manera tanto natural o artificial. El color se mide en unidades de Platino-Cobalto (PCU), existen dos métodos, siendo el uno por comparación visual y el segundo espectrofotométrico. Este parámetro junto con la turbidez, el olor y el sabor comprenden un grupo de parámetros netamente organolépticos, indicativos de la calidad de agua para consumo humano El Real

Decreto 140 de aguas de consumo determina su control completo y de grifo y determina un valor de 30 PCU para calificar un agua como apta para el consumo humano (Cui et al., 2020).

### **2.2.8 Alcalinidad**

Se conoce como la medida de la capacidad del agua para neutralizar las sustancias ácidas, visto desde otro punto es la capacidad del agua de resistir una capacidad del agua para resistir un cambio en el pH cuando se añade ácido. El método más empleado es el de alcalinidad de fenolftaleína y se determina a través de una valoración a un pH de 8.3, a su vez registra el hidróxido total y la mitad del carbonato presente, esta es un subconjunto de la alcalinidad total. La medición de este parámetro tiene relevancia y diversidad de aplicaciones en el tratamiento de agua potable y aguas residuales; ya que una alcalinidad alta puede disminuir la toxicidad de los metales pesados asociado con el uso de bicarbonatos y carbonatos. Además en entornos naturales de cuerpos de agua dulce la baja alcalinidad los vuelve vulnerables a contaminantes ácidos que afectan la flora y fauna de estos ecosistemas (HACH, 2020).

### **2.2.9 Sólidos totales disueltos**

Conocidos como TDS por sus siglas en inglés, se compone de sales inorgánicas presentes de manera general en el agua, tales como magnesio, potasio, sodio, calcio, etc. Se expresa en mg por unidad de volumen mg/l o como partes por millón (ppm), de acuerdo con la información bibliográfica el agua mineral natural y el agua de grifo posee un valor promedio de TDS de 100 a 200 mg/l, no obstante, en zonas con una alta concentración de minerales el agua de grifo puede presentar valores mayores a los mencionados anteriormente. De acuerdo con la OMS, los niveles de TDS se clasifican de la siguiente manera.

**Tabla 4***Rangos de la calidad del agua según TDS*

Rango	Calidad
Menos de 300	Excelente
300 a 600	Bueno
600 a 900	Regular
900 a 1,200	Pobre
Mayor a 1,200	Inaceptable

Fuente: OMS, 2019.

**2.2.10 Oxígeno Disuelto**

Es la cantidad de oxígeno en estado gaseoso que se encuentra disuelto en el agua, el mismo que se encuentra disponible para el desarrollo de la vida acuática, por lo cual desde hace muchos años se lo considera como un indicador biológico de la capacidad de un cuerpo de agua para sostener la vida acuática y el desarrollo adecuado de estos ecosistemas. Es así que el oxígeno disponible en un sistema acuático no depende únicamente de su producción y consumo, sino que existen otros factores como la salinidad, la altitud o la temperatura, que juegan un papel importante en los valores a obtener (Ávalos Dávila & Redondo Quesada Daiyen Rojas Camacho Jéssica Salazar Marín, n.d.). Si se dispone de una concentración de 5 a 6 ppm se dice que existe oxígeno suficiente para el desarrollo de las especies que habitan este ecosistema; menor de 3 ppm, se estima como dañino para los ecosistemas y menor a 2 ppm como fatal para la mayoría de las especies. Motivo por el cual este parámetro se considera en la formulación de índices de la calidad de agua empleados últimamente en

diferentes países para el monitoreo de la calidad del agua asociado al correcto desarrollo de los ecosistemas acuáticos (Buenaño Bautista et al., 2019).

#### 2.2.11 Salinidad

Se representa como la cantidad de sales diluidas en el agua, se encuentra relacionada con la conductividad ya que la cantidad de iones disueltos incrementan la conductividad, tal cual se menciona en el literal 2.1.6. En base a este parámetro se clasifica el agua de acuerdo a su concentración, tal cual se indica en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Concentración de SD*

Clasificación del agua	Concentración de total de sólidos disueltos (mg/litro)
Agua pura	<500
Agua potable	<1,000
Agua de río	500–3,000
Agua salobre	1,500–10,000
Agua salina	10,000–100,000
Agua de mar	35,000

Fuente: (Resourcefulness, 2021).

La salinidad en el agua tiene gran relevancia puesto que afecta otros parámetros de calidad como la temperatura, es así que a mayor salinidad se requiere una temperatura de congelación menor, por lo general disminuye de 0 °C en el agua pura a 1.9 °C en agua salada (Resourcefulness, 2021).

### 2.3 Criterios internacionales de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico

El agua potable, también llamada para consumo humano, debe cumplir con las disposiciones legales nacionales, a falta de éstas, se toman en cuenta normas internacionales. Los límites máximo permisibles (LMP) referenciales para el agua potable de los parámetros que se controlan actualmente, se indican en el cuadro siguiente.(OMS, 2011).

**Tabla 6**

*Parámetros internacionales de calidad del agua*

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Permisible</b>	<b>Máximo</b>
Potencial hidrogeno	de pH		6,5 – 8,5	
Turbidez		UTN	5	
Color	Color real	unidades de color	20	
Alcalinidad				
OD	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l	
Solidos disueltos totales	SDT	mg/l	1 000	

Fuente: OMS, 2011.

## 2.4 Criterios nacionales de calidad del agua para consumo humano y uso doméstico

Se entiende por agua apta para consumo humano y uso doméstico, debido a que es obtenida de cuerpos de agua dulce superficiales o subterráneas, que luego de ser tratada puede ser empleada por individuos o comunidades en sus actividades cotidianas tales como preparación de alimentos y satisfacción de necesidades domésticas de higiene personal y limpieza de elementos o utensilios. Para lo cual de acuerdo a la norma ecuatoriana debe cumplir con los siguientes parámetros (ANEXO 1 TULSMA, 2019).

**Tabla 7**

*Parámetros de calidad de Agua Potable*

<b>LIMITES PERMISIBLES DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>NORMATIVA NACIONAL</b>		<b>NORMATIVA</b>
	<b>No. 097-A ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL</b>		<b>INTERNACIONAL</b>
	<b>TEXTO UNIFICADO</b>		<b>Valores tomados</b>
	<b>DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL</b>		<b>provisionalmente de</b>
	<b>MINISTERIO DEL AMBIENTE: Norma de</b>		<b>los valores guía</b>
	<b>calidad ambiental y de</b>		<b>recomendados por la</b>
	<b>descarga de efluentes al recurso agua</b>		<b>Organización</b>
	<b>Norma de calidad ambiental y de descarga de</b>		<b>Mundial de la Salud</b>
	<b>efluentes: Recurso agua.</b>		
	<b>Expresado</b>	<b>Unidad</b>	<b>Criterio de</b>
	<b>como:</b>		<b>Calidad</b>

Potencial	pH	Unidades	6-9	6,5 – 8,5
Hidrogeno		de pH		
Turbidez	Unidades	UNT	100.0	5
	nefelométricas			
	de turbiedad			
Color	Color real	Unidades	75	20
		de Platino,		
		Cobalto		
OD	Oxígeno	mg/l	No menor al 80%	
	Disuelto		del oxígeno de	
			saturación y no	
			menor a 6mg/l	
SDT	Solidos	mg/l	1000	1000
	disueltos			
	Totales			

---

Fuente: (ANEXO 1 TULSMA, 2019).

## 2.5 Sistemas de Agua Potable

“Permiten que llegue el agua desde las fuentes naturales, sean subterráneas, superficiales o agua de lluvia, hasta el punto de consumo, con la cantidad y calidad requerida. Este conjunto de obras o tecnologías (tuberías, instalaciones y accesorios) están destinadas a conducir, tratar, almacenar y distribuir las aguas desde su fuente hasta los hogares de los usuarios, satisfaciendo así las necesidades de la población. El sistema de abastecimiento de agua se puede clasificar dependiendo del tipo de usuario en urbano o rural. Mientras que los

sistemas urbanos son complejos, los sistemas de abastecimientos rurales suelen ser técnicamente más sencillos y no cuentan en su mayoría con redes de distribución, sino que utilizan piletas públicas o llaves para uso común, o conexión domiciliaria o familiar” (He et al., 2022).

## **2.6 Impurezas existentes en el agua**

Conocidas generalmente como partículas presentes en las fuentes de agua y se pueden clasificar de acuerdo a su tamaño, de la siguiente manera: i) Sólidos suspendidos, de origen mineral u orgánicos, así como microorganismos, los mismos que son responsables de la turbidez y color del agua. ii) Partículas coloidales, similares a los anteriores, pero con un tamaño inferior y velocidad de sedimentación disminuida, por lo general se encuentran cargadas negativamente, por la existencia de grupos  $\text{RCOO}^-$  y  $\text{OH}^-$  lo cual impide la formación de partículas más grandes. iii) Sustancias disueltas, corresponde a sustancias inorgánicas como cationes y aniones, además de sustancias orgánicas, como alcoholes, aldehídos y ácidos; con la posibilidad de gases presentes (Fernández & Tusó, 2020).

## **2.7 Clarificación del agua**

Inicialmente este proceso se enfocaba en la mejora visual del agua, sin embargo actualmente es ampliamente empleada en la remoción de turbiedad y color del agua para el tratamiento de agua potable en todos sus niveles, con el objeto de retirar la mayor cantidad de impurezas, a través de un proceso de conversión a partículas más grandes que puedan ser removidas posteriormente con facilidad y de esta manera proporcionar agua potable para consumo humano (Camacho & Peña, 2018). Entre los métodos más utilizados se han destacado la filtración sobre carbón, tamizaje, cocción, exposición a la luz solar, ultrafiltración y uso de coagulantes químicos u orgánicos (FLUENCE, 2019).

## **2.8 Procesos de remoción de la turbiedad**

### **2.8.1 Floculación**

Se basa 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, su objetivo principal es conjugar las partículas desestabilizadas para formar compuestos de mayor peso y tamaño que puedan sedimentar con mayor eficiencia (Aboelfetoh et al., 2021).

#### ***2.8.1.1 Factores que influyen en la floculación***

Entre los factores que influyen en la floculación se encuentran la concentración y naturaleza de las partículas, el tiempo de retención, el gradiente de velocidad, la calidad del agua cruda, la temperatura, variables químicas (Suquet et al., 2021).

### **2.8.2 Coagulación**

Permite la formación de pequeñas partículas gelatinosas a partir de la incorporación de un coagulante al agua y posterior mezclado, lo cual desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de los coloides cargados negativamente. Se la lo ha definido como el tratamiento más eficaz para la exclusión de impurezas en el agua, a pesar de ello puede presentar costos elevados cuando no se aplica adecuadamente, siendo la dosis del coagulante un condicionante del funcionamiento de las unidades de sedimentación, por lo cual es imposible realizar una adecuada clarificación del agua si el coagulante no se encuentra en la dosis exacta (Arciniega & Salazar, 2021).

#### ***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. 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 (Mahanna, 2018).

### ***2.8.2.1 Coagulantes orgánicos***

Son compuestos de origen natural o artificial que se adicionan al agua para disminuir o eliminar la carga biológica, orgánica e inorgánica, con la formación de productos poco solubles que suelen precipitar, eliminando de esta manera olor, turbiedad y color (Camacho & Peña, 2018). Se han empleado en mayor cantidad en todo el mundo los coagulantes químicos en la potabilización del agua, se destaca el Sulfato de Aluminio ((Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18H<sub>2</sub>O), más conocido como Alumbre y el Cloruro de Calcio (AlCl<sub>3</sub>), usados en países de desarrollo desde los años 60's, debido a su alta efectividad para la remoción de turbiedad y microorganismo, además de su fácil acceso (Arciniega & Salazar, 2021).

La utilización de los coagulantes más comunes como, por ejemplo, el sulfato de aluminio, se ha venido cuestionando en los últimos tiempos debido, entre otras causas, a la dificultad técnica para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación y su posible relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas (Ren et al., 2022). Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y puede solubilizarse el aluminio ocasionando problemas de altas variaciones en los valores de turbiedad, pH, alcalinidad, dureza y aluminio residual del agua clarificada. El aluminio en solución ocasiona una reestabilización de las cargas de las partículas en suspensión y experimenta una

postfloculación generando problemas en la apariencia del producto terminado, especialmente en aguas envasadas (Dayarathne et al., 2022).

### **Almidón de yuca**

El almidón de yuca resta sedimentación al agua, y con este se obtiene una mejor respuesta en los procesos de clarificación. Para la fabricación del compuesto, se necesita sacar la cáscara al tubérculo, luego molerlo, triturarlo y se retira el producto a una base húmeda, dejándolo secar hasta obtener el almidón (Arulmathi et al., 2019).

### **Almidón de papa**

Las cáscaras de papa (*Solanum Tuberosum*), son recolectadas por las empresas que procesan el agua, luego las lavan con abundante agua, las secan a temperatura de 100°C durante 24 horas, este material obtenido es triturado mediante el uso de un molinillo eléctrico. El polvo obtenido es tamizado de manera manual por un cedazo N° 40 para su almacenamiento en recipientes plásticos y posteriormente se usa para la solución coagulante. Según un estudio realizado por Bouchareb et al., 2021, en el cual emplea un proceso combinado de coagulación/floculación química y filtración por membrana. Se utilizan cuatro coagulantes inorgánicos diferentes: cloruro de polialuminio, alumbre, cloruro de hierro (III) y sulfato de hierro (II). Los resultados muestran que los coagulantes inorgánicos mejoraron tanto la demanda química de oxígeno (DQO) como la eliminación de la turbidez a 1 g/L de concentración.

### **Moringa Oleífera como coagulante**

El marango (*Moringa oleífera Lam- Moringaceae*) es originario de India y Bangladesh. Se encuentra distribuida en las zonas del Sur y Sudeste de Asia. Se adapta muy bien en los trópicos y subtrópicos. Las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas son

temperaturas entre 25-30 °C, una precipitación anual de 1,000 a 2,000 mm, alta radiación solar y suelos bien drenados (Gómez, 2017).

Las semillas de *Moringa Oleifera* contienen proteínas catiónicas y pueden utilizarse como coagulantes eficientes en la clarificación de aguas para consumo humano. Los pocos estudios orientados a la semilla han demostrado la presencia de componentes químicos, como la pterigospermina entre otros, que pueden ser utilizados en la industria farmacéutica, en la industria de grasas y aceites y en la perfumería. En la actualidad, en muy pocas regiones se empieza a cultivar el árbol con fines comerciales, principalmente por los nutrientes y vitaminas que ofrecen sus hojas. En Guatemala se ha empezado a obtener provecho del árbol, por ser un país con clima tropical y con una gran gama de suelos, reúne las condiciones propicias para desarrollar el cultivo del árbol de moringa en varios departamentos, con alturas hasta los 1,200 msnm (Gómez, 2017).

### **Caracterización de la Moringa**

MORINGA Y MINERALES: Calcio, cobre, manganeso, hierro, magnesio, fósforo, potasio, selenio, sulfuro, zinc. Dado que los productos del árbol MORINGA contienen una cantidad multiplicada de proteínas que la soja, llevan también un Phytoestrogéno natural de buena calidad y equilibrado, y esto sin ningún efecto secundario, que reduce los problemas de la menopausia considerablemente. Por lo tanto, los productos de MORINGA también son una parte integrante de la cocina oriental y es muy probablemente el motivo de que las mujeres en estos países sufren menos problemas de menopausia y ni siquiera tienen una denominación para este problema, que en nuestros países occidentales generaciones de mujeres ya tuvieron que soportar.

“100 gramos de moringa contienen: Agua 7.5, calorías 205, contenido de grasa (g) 2.3,

proteínas 27.1, fibra dietética 19.2. Carbohydrate (g) 38.2, fiber (g) 19.2, calcio (mg) 2.003, manganeso (mg) 368, potassium (mg) 204, k (mg) 1.324, potasio (mg) 0.57, hierro (mg) 28.2 selenio (mg) 870, oxalic ácido (mg) 1.60%, caffeoyquinic ácido mineralien 2.3, vitamina A, B caroteno (mg)16.3, vitamina B, choline (mg) 423, vitamina B 1, Thiarnin (mg) 2.64, vitamina B2, riboflavina (mg) 20.5, vitamina B3, nikoton ácido (mg) 8.2, vitamina C, ascorbin ácido (mg) 17.3, vitamina D, vitamina E, tocoferol acetato (mg) 113, vitamina K, vitamina P, rutin, clorofila, a- linolenic (omega 3) los ácidos grasos, beta-sisterol. Oligoelementos, como selenio, el ingreso en el caso a largo plazo para su 35% reduce, Quercetin, Kampferol, los aminoácidos, “esencial” y “no esenciales” (Gómez, 2017).

### **Antecedentes de estudios realizados con coagulantes orgánicos**

Según estudios desarrollados por la por diferentes autores a lo largo de los años, se presentan antecedentes de coagulantes orgánicos usados en el tratamiento de agua para consumo humano, siendo los más analizados la semilla de *Moringa Oleífera*, fécula de maíz, almidón de yuca y la semilla de tamarindo.

**Tabla 8***Estudios de coagulantes orgánicos*

Año	Coagulante	Tipo de agua	Turbiedad	Rango de turbiedad	Mezcla rápida		Mezcla lenta		Sed. (min.)
					T°	Velocidad	T°	Velocidad	
1986	Semilla de Moringa	Natural	2	14 – 174	0.5 a 5	60 a 120	5 a 20	20 a 25	1 día
1987	Fécula de maíz	Natural	2	86 – 1,150	1	100	15	40	30
2015	Almidón de yuca	Sintética	60	0 – 1,100	1	100	15	40	15
2016	Semilla de tamarindo	Sintética	24	100 - 500	1	100	20	40	30

Fuente: Turcios, 2019.

**Prueba de JAR TEST**

Conocido como ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química de aguas. Este proceso requiere como datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda (Dayarathne et al., 2022). En la prueba de jarras se utilizan variaciones en la dosis del coagulante y/o floculante en cada jarra (generalmente se usan equipos de seis (6) jarras), permitiendo la reducción de los coloides

en suspensión y materia orgánica a través del proceso de floculación; es decir, simula los procesos unitarios de coagulación, floculación y sedimentación, permitiendo además realizar el ajuste en el pH de cada muestra hasta llegar a los valores en los que la floculación alcanza sus mejores resultados, los cuales dependerán del tipo de reactivo a utilizar, aunque generalmente se maneja un pH entre 7,3 a 7,6 (Megersa et al., 2019).

Se utiliza este método cuando se requiere determinar la dosis óptima de coagulantes en plantas de tratamiento de agua potable y/o agua residual, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente; así como para establecer las dosis óptimas de polímero a ser utilizado en procesos de deshidratación de lodos. Con este procedimiento se determina las condiciones óptimas a pequeña escala lo más representativas con el objetivo de predecir el funcionamiento de una operación unitaria a gran escala (Jairo et al., 2018).

Mediante este tratamiento puede llegar a eliminarse del 80 al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de la DBO5 y del 30 al 40% de la DQO. hidratados, las bacterias, las proteínas, etc., aportando turbidez y color al agua (Ruelas-Leyva et al., 2017).

### **Estado del arte**

Bouchareb et al. (2021), desarrollo un estudio en el que se utilizaron cuatro coagulantes inorgánicos diferentes: cloruro de polialuminio, alumbre, cloruro de hierro (III) y sulfato de hierro (II). Los resultados muestran que los coagulantes inorgánicos mejoraron tanto la demanda química de oxígeno (DQO) como la eliminación de la turbidez a 1 g/L de concentración. Los resultados demuestran que la etapa primaria del tratamiento es necesaria para prevenir el ensuciamiento temprano de la membrana y proporcionar un alto flujo de permeado. Aunque los tratamientos más utilizados se basan en sistemas combinados de

coagulación/floculación y filtración por membrana, se informan muy pocos artículos de investigación para el tratamiento de PPW.

Franco et al. (2017), en un estudio cuyo objetivo fue determinar el método más adecuado para la preparación de *Moringa Oleífera*, el mejor tiempo de sedimentación y concentración adecuada para diferentes valores de turbiedad del afluente. Para ello se diseñó 3 métodos: a) pelado, triturado, tamizado y diluido; b) secado, triturado, tamizado, diluido y filtrado y, c) triturado, tamizado, diluido y filtrado. A través de método de JAR test se realizaron pruebas por triplicado. Se determinó que no existe diferencias significativas entre los métodos de extracción empleados, sin embargo, el uso de MO, presentó una alta eficiencia en la remoción de turbiedad en aguas, con valores por encima de los 40 NTU, mientras que el tiempo máximo de sedimentación fue de 129,6 minutos, para la eliminación de turbiedad en un porcentaje de 90.5 %.

De acuerdo con un trabajo de titulación realizado por Zeas (2018), con muestras de agua del río Guayas, la harina de semilla de *Moringa* superó en todas las pruebas realizadas con un 98 % de remoción de la turbidez, presentando el mayor rendimiento en comparación con los cuatro coagulantes de estudio (sulfato de aluminio, policloruro de aluminio y sulfato de hierro).

Valverde et al. (2018), desarrolló una investigación a través de la cual se evaluó la eficiencia de la coagulación/floculación y filtración empleando una combinación de coagulante natural de *Moringa* y el coagulante sintético Cloruro de poliamina (PAC), para ello se utilizó muestras de agua cruda de río, mientras que los ensayos de coagulación/floculación se realizaron con un JAR test. Se determinó que el uso de la MO

contribuyó a la reducción significativa de la dosis requerida de coagulante sintético, además de mejorar parámetros de calidad como turbidez y color aparente.

Según Ribeiro et al. (2019), el uso de *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la eliminación de la turbiedad y color aparente en el tratamiento de agua potable. La prueba de jarra demostró los estándares de potabilización del agua para turbidez y color aparente lograron en un rango de pH de 4 a 8.5, además de dosis  $\geq 5$  mg/l. Se determinó que es posible tratar aguas de baja turbiedad con semillas de MO mediante la técnica de filtración en línea.

Domingues et al. (2020), evaluó la capacidad de la semilla de *Killip de Zygia cauliflora* como coagulante natural, el ensayo se realizó empleando diferentes concentraciones del coagulante natural (0,1, 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 y 4,0 g L<sup>-1</sup>) y de NaCl (0,0 M, 1,0 M y 5,0 M). Los resultados mostraron que el uso de 2 g L<sup>-1</sup> de coagulante y 1,0 M de la sal lograron una efectividad del 20% y 70%, respectivamente con relación a color y turbiedad. No obstante, el coagulante preparado con solución salina a 5,0 M de NaCl dio como resultado una estructura en forma de red seguida de la eliminación de la turbidez a través de un mecanismo de coagulación de barrido, por lo que el autor recomienda que los trabajos posteriores deberían centrarse en el uso de *Zygia cauliflora* como una alternativa para remplazar o usar coagulante químico auxiliar.

Campos et al. (2019), realizó una investigación que se centró en el análisis de la eficiencia del biopolímero PG $\alpha$ 21Ca, resultado de la potabilización del agua, a partir de pruebas de coagulación/floculación y sedimentación. se determinó que el biopolímero se desempeña muy bien en la eliminación de la turbiedad y el color aparente, con una turbiedad residual de 1.84 NTU, es decir un 96.95 % de remoción de la turbiedad; además redujo un 100 % del fosforo total existente en el agua.

Ruelas et al. (2017), realizó una investigación con el objetivo de comparar la eficiencia del quitosano y la harina de MO como coagulante/floculante, se utilizó pruebas de jarras en muestras tomadas de agua de río, aguas residuales agrícolas y mixtas. Se probaron dosis de coagulante orgánico en un rango de 0.005 a 20 mg L<sup>-1</sup> independientemente de la turbidez inicial, la dosis apta para la disminución de este parámetro fue de 1 a 5mg L<sup>-1</sup>, en el agua de río se alcanzó una remoción de la turbiedad de hasta un 95 %, independientemente del biofloculante, en el caso de la eliminación de Mn la MO se desempeñó mejor que el quitosano.

Feria et al. (2018), llevo a cabo una investigación que tuvo como objeto verificar la influencia del tiempo de almacenamiento de las semillas de MO en su actividad coagulante al ser empleada para el tratamiento de agua cruda. Es así que se prepararon dos muestras, una con semillas de MO almacenadas y conservadas por un lapso de seis meses; y, otra preparada con semillas conservadas por 4.5 años. El estudio determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas muestras, no obstante, es importante mencionar que se obtuvieron remociones de turbidez mayores al 95 %.

Camacho et al. (2017), demostraron que se puede emplear polvo integral de MO, para aguas de baja turbiedad combinado con una extracción salina de 1M del compuesto coagulante activo, los valores de remoción de la turbidez fueron de 60 %, además se demostró que MO es capaz de disminuir la carga de materia orgánica presente en el agua, en un rango de 40 a 50 % cuando se emplea MO extraída con NaCl. No obstante, los resultados de materia orgánica disuelta demostraron un incremento significativo independiente del tipo de extracción de MO utilizado.

Turcios (2019), presenta el resultado de evaluar la eficiencia y factibilidad del uso del polvo de MO como coagulante orgánico en la remoción de la turbidez del agua para consumo humano, al analizar los resultados se obtuvo un porcentaje de remoción de 23 % con un tiempo de sedimentación de 15 minutos. Se concluyó que no es técnicamente factible el uso del polvo de MO a nivel domiciliario.

Odiyo et al. (2017), desarrolló una investigación en la cual analiza la actividad coagulante de otro tipo de especie vegetal *Dicerocaryum eriocarpum* (DE), para el tratamiento de la turbidez en el agua, el mucilago de DE se obtuvo con agua desionizada y diferentes soluciones de cloruro. Se registró una eficiencia de coagulación de 99 % al utilizar mucílago modificado, mientras que el mucílago modificado de extracto crudo de potasio y extracto crudo de sodio presentó mayores índices de coagulación que el mucilago modificado, dando como resultado la mejora significativa de la calidad del agua.

Arulmathi et al. (2019), llevó a cabo la evaluación de la eficiencia de coagulantes biopoliméricos y poliméricos sintéticos para la eliminación del color, la DQO y la turbidez de aguas residuales de industrias textiles. Como biopolímero se escogió la cascara de *Gossypium herbaceum* (GHC), un coagulante biopolimérico de biorresiduos, y coagulantes de polianilina (PAC) (un polímero sintético). La máxima eliminación de color, DQO, y la turbidez con GHC es del 90,13, 72,96 y 85,48 %, respectivamente, a pH 5,5, dosis de coagulante 2,2 g L<sup>-1</sup> y tiempo de contacto de 35 min, mientras que la máxima eliminación de color, DQO y turbidez con PAC es resultó ser 94.38, 91.45 y 89.36%, respectivamente, a pH 8.0, dosis de coagulante 1.6 g L<sup>-1</sup> y tiempo de contacto 35 min.

### **3 METODOLOGÍA**

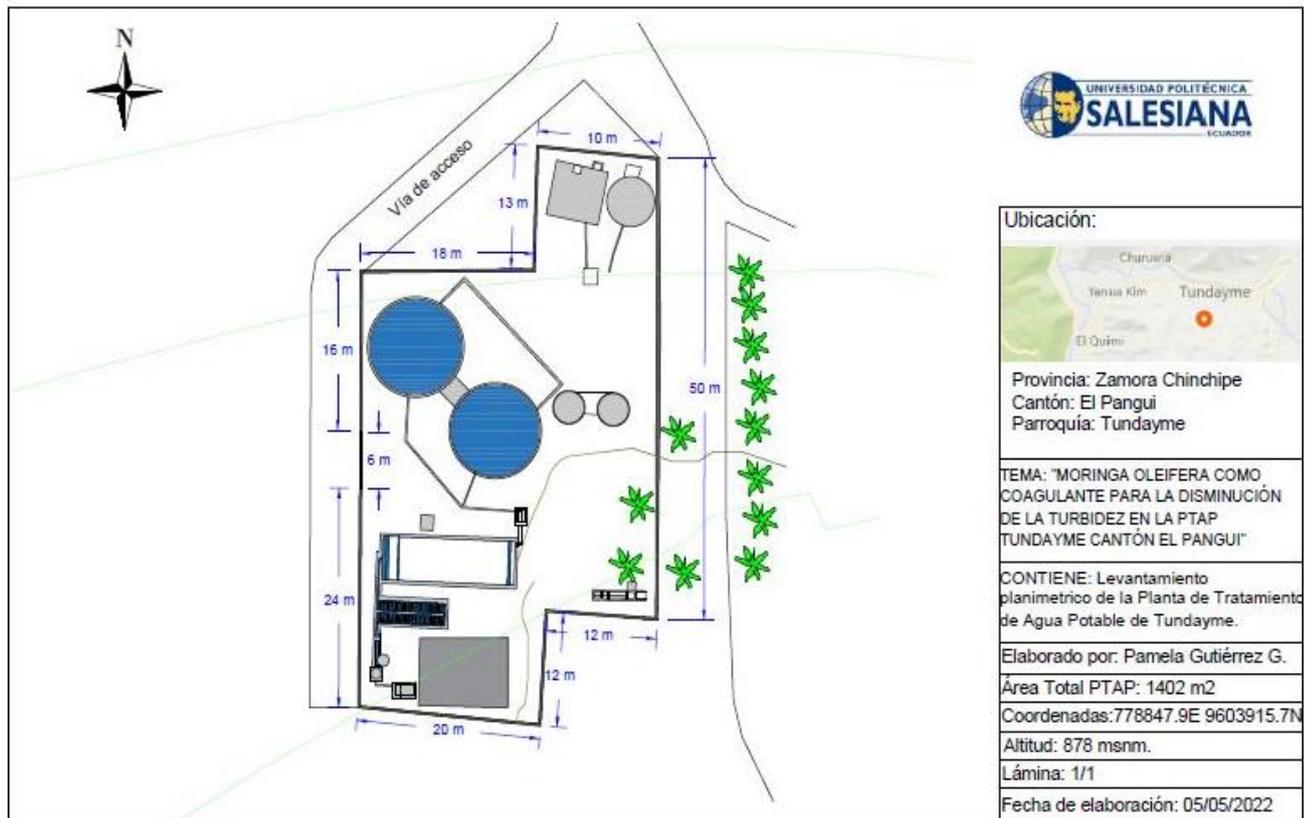
#### **3.1 Delimitación de la zona de estudio**

La PTAP Tundayme se ubica en la parroquia Tundayme, cantón el Pangui, provincia de Zamora Chinchipe, se encuentra a una distancia de 25 km de la ciudad de El Pangui, su altura promedio es de 820 m.s.n.m. y sus coordenadas son: Latitud: N- 9°604.480.00; Longitud E778.359.00; La población beneficiada en la actualidad es de 800 habitantes y con un periodo de diseño de 25 años en el que se prevé servir a 1871 habitantes. (PUCHA, 2013a).

El área poblada y el sitio donde esta implementada la PTAP (zona de estudio) poseen suelos que presentan, en su mayoría, poca profundidad y acidez. El tipo de suelo que predomina pertenece al sub grupo Typic Udorthents, perteneciente al orden entisol y comprende una superficie de 13836 ha (53,95%); estos suelos son aptos para bosques. El área donde se ubica la captación para el sistema de agua potable, se encuentra en gran parte con vegetación primaria lo que hace que las precipitaciones se infiltren en el suelo y disminuya la escorrentía (PUCHA, 2013a).

**Figura 4**

*Levantamiento topográfico PTAP Tundayme*



Fuente: Autor

### 3.2 Muestreo in-situ para caracterización de agua de la PTAP

Para realizar la caracterización del agua se determinaron dos puntos de muestreo, los cuales se encontraban al ingreso y a la salida de la planta. Debido a la inestabilidad de algunos parámetros como el pH, turbidez y temperatura fue necesario realizar la medición in-situ.

**Figura 5**

*PTAP de Tundayme*



Fuente: Autor

**Figura 6.**

*Reconocimiento de PTAP de Tundayme*



Fuente: Autor

**Figura 7**

*Medición de turbidez*



Fuente: Autor

## Figura 8

*Medición in-situ de pH y temperatura*



Fuente: Autor

Debido a que no todos los parámetros físico-químicos pueden ser medidos in-situ, se trasladó 1 Litro de agua por cada punto de muestreo de la Planta de Tratamiento de Tundayme al laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, dos veces por semana, desde el 15 de diciembre del 2021 hasta el 06 de abril del 2022.

**Figura 9**

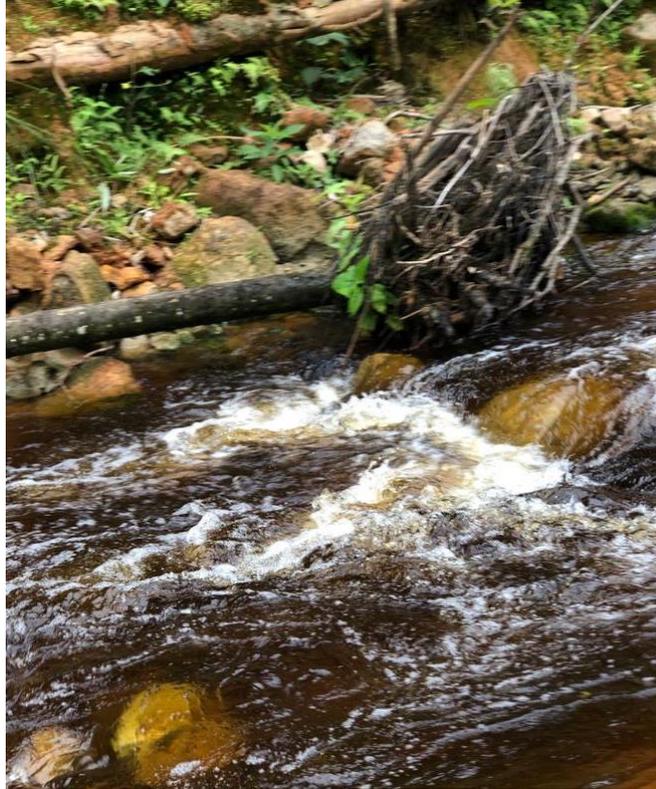
*Recolección de muestras in-situ*



Fuente: Autor

## **Figura 10**

*Quebrada Laveno*



Fuente: Autor

### **3.3 Caracterización del agua en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana Sede – Cuenca.**

Por cada muestra tomada se midió pH, Turbidez, Alcalinidad, Conductividad, Color, Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos totales disueltos (TDS) y Salinidad, en un total de 66 muestras. Las cuales fueron tomadas entre las 08h00 y 16h00 respectivamente, dos veces por semana, en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril.

## **Materiales, equipos y reactivos**

### **Materiales**

- Vasos de precipitación
- Varillas de vidrio
- Matraz
- Pipetas de vidrio
- Peras de succión
- Soporte
- Bureta
- Balón de aforo
- Embudo de vidrio
- Embudo de plástico
- Piseta
- Luna de reloj
- Probeta

### **Equipos**

- PH metro
- Multiparámetros
- Colorímetro
- Fotómetro
- Cocina eléctrica
- Balanza analítica
- Cámara de flujo laminar

- Micropipeta

### **Reactivos**

- Kit de Oxígeno Disuelto (OD)
- Ácido sulfúrico 95-97% (0.01 N)
- Azul de metileno
- Naranja de metilo
- Hidróxido de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ )
- Fenolftaleína

## **3.4 Medición de parámetros**

### **3.4.1 pH**

Se tomó 50 ml de la muestra de agua en un vaso de precipitación de 100 ml y se midió con el pH metro marca “SevenMulti METTLER TOLEDO”. Este proceso se realizó para todas las muestras de agua medidas en el laboratorio.

## Figura 11

*Medición de pH.*



Fuente: Autor

### 3.4.2 Turbidez

Esta se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Se midió en un turbidímetro marca “LaMotte SMART2 COLORIMETER”, se calibró con un “Blanco” de agua destilada, posterior a esto se colocó 10 ml de la muestra del agua a medir. En donde el turbidímetro mide la intensidad de la luz dispersada a  $90^\circ$  cuando un rayo de luz pasa a través de la muestra.

## Figura 12

*Medición de Turbidez*



Fuente: Autor

### 3.4.3 Alcalinidad

#### Preparación de soluciones y reactivos

Solución H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02 N

Dentro de la cámara de flujo laminar, en un balón de aforo de 1000 ml agregamos 500 ml de agua destilada, posterior a esto depositamos cuantitativamente 0.28 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 95-97%, mezclamos por inversión y agregamos agua destilada hasta completar los 1000 ml.

Solución estándar Carbonato de Calcio 2.5 g/L

Colocamos en una luna de reloj cerca de 1 gramo de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y ponemos en la estufa por 4 horas a 250 °C.

Solución Estándar Carbonato de Calcio 2.5 g/L

Pesamos 0,25 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , colocamos en un vaso de precipitación de 500 ml, agregamos 50 ml de agua destilada, disolvemos con la varilla de vidrio. Transferimos a un balón de aforo de 100 ml y llenamos el balón hasta llegar al faltante con agua destilada y finalmente tenemos la solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Procedimiento

En un soporte colocamos una bureta con 0 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02N y debajo un vaso de precipitación de 100 ml con 50 ml de muestra de agua, con un PH metro, agregamos porciones constantes de 0.5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02N, dejamos que se vaya mezclando poco a poco y verificamos los valores de pH correspondiente. Seguimos añadiendo porciones de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02N hasta llegar a un pH igual o cercano a 5. Colocamos una luna de reloj sobre el vaso y lo llevamos a la cocina eléctrica para calentarlo, hacer hervir suavemente 3 a 5 minutos para eliminar el  $\text{CO}_2$  y dejamos enfriar a temperatura ambiente. Enjuagamos la luna de reloj con agua destilada vertiendo el agua en el vaso de estudio. Repetimos el procedimiento hasta llegar a un pH de 3.

Determinación de muestras

Para determinar la alcalinidad total agregamos 2 gotas de “Naranja de metilo” en un “blanco” y agitamos. La muestra torna un color anaranjado.

En nuestra muestra de estudio agregamos igualmente 2 gotas de “Naranja de metilo” y agitamos para que sea uniforme. Si la muestra cambia a anaranjado rojo, la Alcalinidad

total es 0. Esto nos indica que el agua es acida y no hay carbonatos, bicarbonatos ni hidróxidos. Si el color es Amarillo brillante anotamos el gasto de “Naranja de metilo” para posteriores cálculos. En el caso del volumen de nuestra muestra (50 ml), el volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> usado fue de 24.2 ml y su normalidad del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> es de 0.01965, entonces tenemos una alcalinidad total de 476 mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

### Figura 13

*Ácido utilizado*



Fuente: Autor

**Figura 14**

*Medición de Ácido Sulfúrico*



Fuente: Autor

## Figura 15

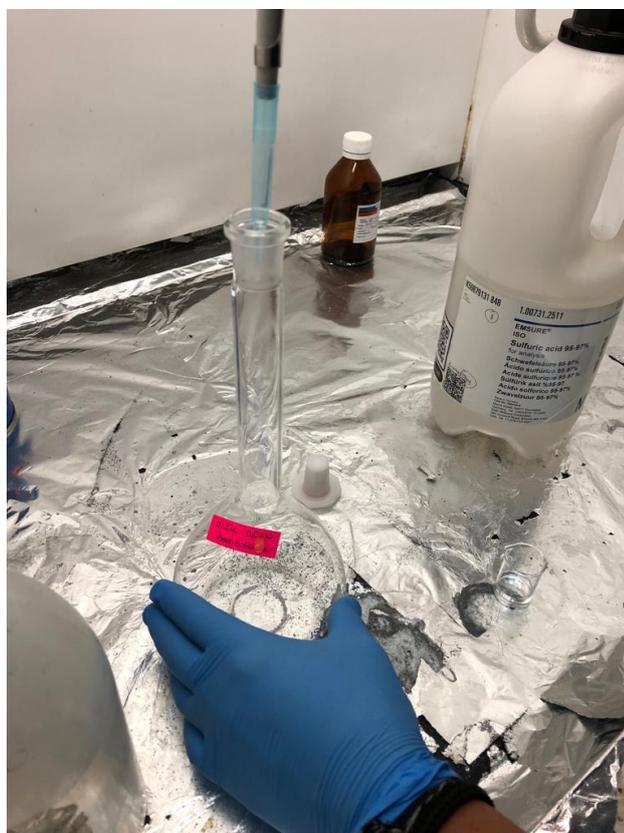
*Toma de Ácido con micropipeta*



Fuente: Autor

## Figura 16

*Adición de Ácido al agua destilada*



Fuente: Autor

## Figura 17

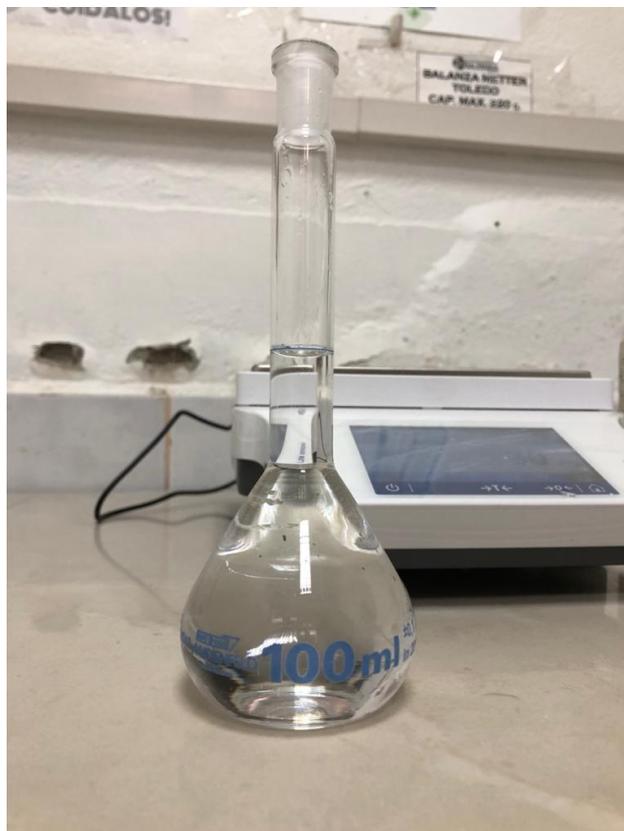
*Adición de Agua destilada hasta 1000 ml*



Fuente: Autor

**Figura 18**

*Ácido Sulfúrico 0.002 N*



Fuente: Autor

## Figura 19

*Proceso de Titulación*



Fuente: Autor

## Figura 20

*Agregamos naranja de metilo a la muestra*



Fuente: Autor

## Figura 21

### *Valoración de la Solución*



Fuente: Autor

#### 3.4.4 Conductividad

Se tomó 50 ml de la muestra de agua en un vaso de precipitación de 100 ml y se midió con el SevenMulti METTLER TOLEDO. Este proceso se realizó para todas las muestras de agua medidas en el laboratorio. La conductividad se mide en micro siemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

## Figura 22

### Conductividad



Fuente: Autor

### 3.4.5 Color

Se midió en un multiparámetro marca “LaMotte SMART2 COLORIMETER”, se calibró con un “Blanco” de agua destilada, posterior a esto se colocó 10 ml de la muestra del agua a medir para determinar el color.

**Figura 23**

*Medición de Color*



Fuente: Autor

### **3.4.6 Oxígeno Disuelto (OD)**

Para medir el Oxígeno Disuelto utilizamos el KIT 330 OXIGENO de ROBERT RIELE KG / BERLÍN, consiste en llenar el frasco del kit con la muestra hasta el borde, posterior a esto añadimos 1 gota de  $O_2-1$  y  $O_2-2$  y añadimos la perla. Cerramos el frasco sin atrapar el aire e invertimos para mezclar, añadimos 1 gota de  $O_2-3$  y mezclamos. Al añadir los reactivos  $O_2-1$  y  $O_2-2$  algo de agua rebosara por el lado del frasco, mientras los reactivos se hundirán siendo retenidos cuantitativamente. Después de añadir la perla,

cerramos el frasco sin atrapar aire, esta perla asegura la mezcla y el equilibrio al ser invertido. Se formará una suspensión de hidróxido de manganeso con un color entre marrón oscuro y blanco equivalente a la cantidad de oxígeno fijado. Este finalmente se convierte en rosado soluble de EDTA Y Mn (III) al añadirse  $O_2-3$ , proceso al cual ya no le afecta el contacto con el aire. Por último, en el FOTÓMETRO 680 en una celda colocamos agua destilada como blanco y posterior a esto ponemos una celda con la muestra para medir la cantidad de ppm presentes en las muestras estudiadas.

### **Figura 24**

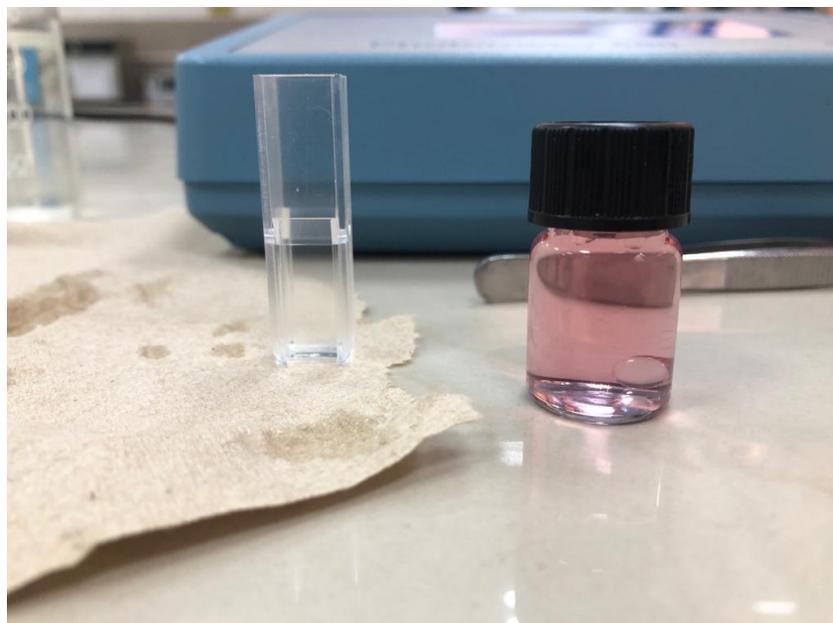
*Kit para medir OD*



Fuente: Autor

**Figura 25**

*Rosado soluble de EDTA y Mn (III)*



Fuente: Autor

**Figura 26**

*Fotómetro 680*



Fuente: Autor

### **3.4.7 Sólidos totales disueltos (TDS)**

Para medir los sólidos totales disueltos se tomó 50 ml de la muestra de agua en un vaso de precipitación de 100 ml y se midió con el SevenMulti METTLER TOLEDO. Este proceso se realizó para todas las muestras de agua medidas en el laboratorio. Los sólidos totales disueltos se miden en mg/L.

**Figura 27**

*Medición de TDS*



Fuente: Autor

### **3.4.8 Salinidad**

Para medir la salinidad se tomó 50 ml de la muestra de agua en un vaso de precipitación de 100 ml y se midió con el SevenMulti METTLER TOLEDO. Este proceso se realizó para todas las muestras de agua medidas en el laboratorio. La salinidad es medida en psu.

**Figura 28**

*Medición de Salinidad*



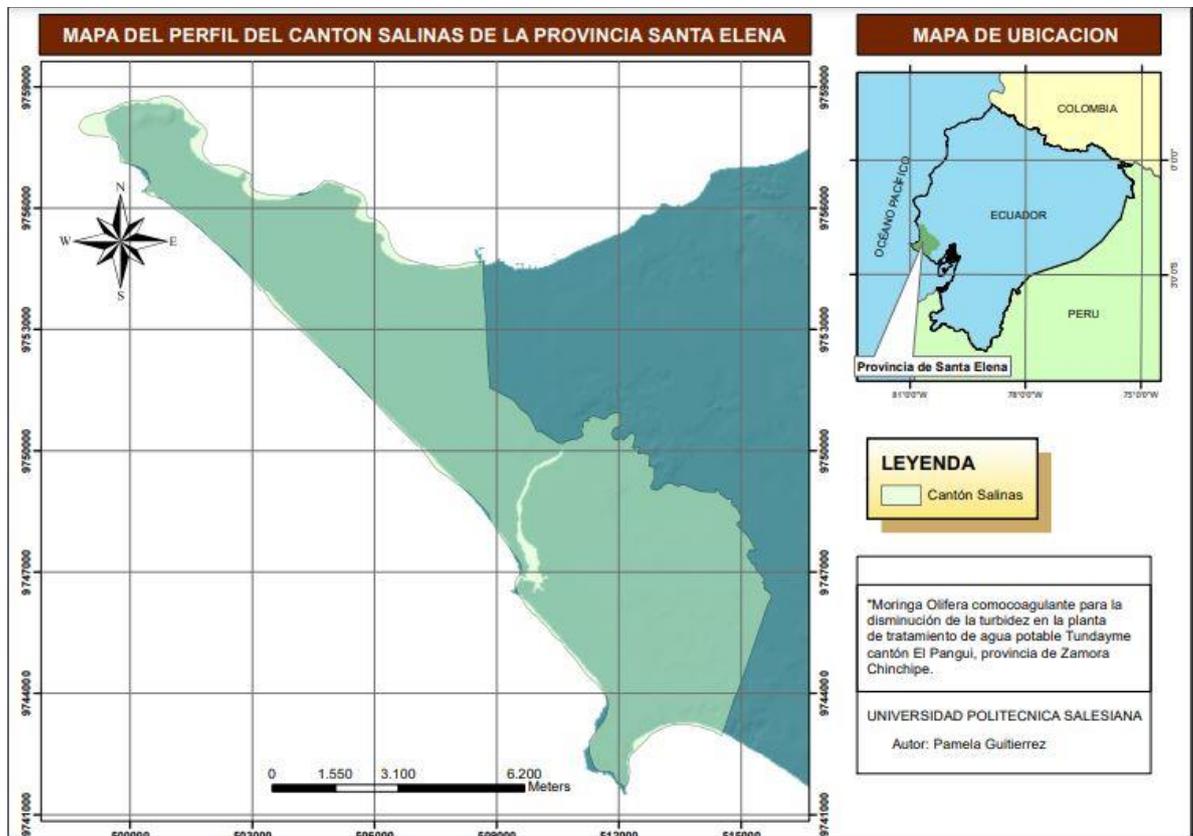
Fuente: Autor

### **3.5 Obtención de la pasta de Moringa Oleífera (M. Oleífera) para su utilización como coagulante natural.**

La *Moringa Oleífera* (*M. Oleífera*), se obtuvo en el Cantón Salinas, el cual se ubica en la parte occidental de la Provincia de Santa Elena. Esta zona es muy seca, por lo que posee pampas salineras y las lluvias son algo escasas. Las elevaciones de Salinas son muy pequeñas. Oscilan temperaturas entre 21 ° C y 33 ° C, presenta un suelo tipo árido desértico que es ideal para el crecimiento de la *Moringa Oleífera*.

Figura 29

Mapa del cantón Salinas



Fuente: Autor

## **Materiales, equipos y reactivos**

### **Materiales**

- Molino manual
- Probeta
- Mortero
- Vasos de precipitación
- Lunas de reloj
- Tubos falcon
- Pílon
- Espátula
- Papel de aluminio
- Bandejas
- Papel filtro
- Matraz
- Botellas ámbar
- Celdas
- Varillas de vidrio
- Arena rosa
- Aceite de vaselina
- Cloruro de sodio
- Dedales de celulosa

### **Equipos**

- Balanza analítica

- Estufa
- Analizador de humedad
- Extractor tipo Soxhlet
- Cámara de flujo laminar
- Rotavapor
- Centrifuga
- Equipo de filtración al vacío

### **Reactivos**

- n- Hexano

### **1.5 Preparación de la semilla de *Moringa Oleífera*.**

La recolección de las vainas de *Moringa Oleífera*, se realizó durante los meses de noviembre y diciembre en el cantón Salinas, fueron trasladadas a la ciudad de Cuenca, al laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana para su respectivo tratamiento.

Se realizó una clasificación de las vainas, cada vaina contiene aproximadamente 30 semillas, las cuales fueron retiradas de manera manual y separando las semillas verdes de las secas, tales que solo con su apariencia se las podía identificar.

**Figura 30**

*Vainas de Moringa Oleifera*



Fuente: Autor

**Figura 31**

*Semillas de M. Oleifera*



Fuente: Autor

## Figura 32

### *Proceso de descascarar*



Fuente: Autor

Para el secado de las semillas clasificadas se aprovechó el recurso natural de la luz solar, que en la fase de experimentación este recurso era alto. Este proceso se realizó para que se seque y sea más fácil el desprendimiento la semilla de la cascara que la rodea.

### Figura 33

*Semillas de moringa secado en presencia de luz solar.*



Fuente: Autor

Posteriormente se colocaron las semillas en una Estufa marca “Memmert”, modelo SNB-400 del laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana. A una temperatura de 105.5 °C, durante 2 horas. En este proceso se pierde volumen por la eliminación de humedad de las semillas. Se peló las semillas, dejando solamente la semilla y la cascara nos sirve para elaborar carbón activado por sus propiedades.

**Figura 34**

*Semillas con cáscara de M. Oleifera para estufa*



Fuente: Autor

**Figura 35**

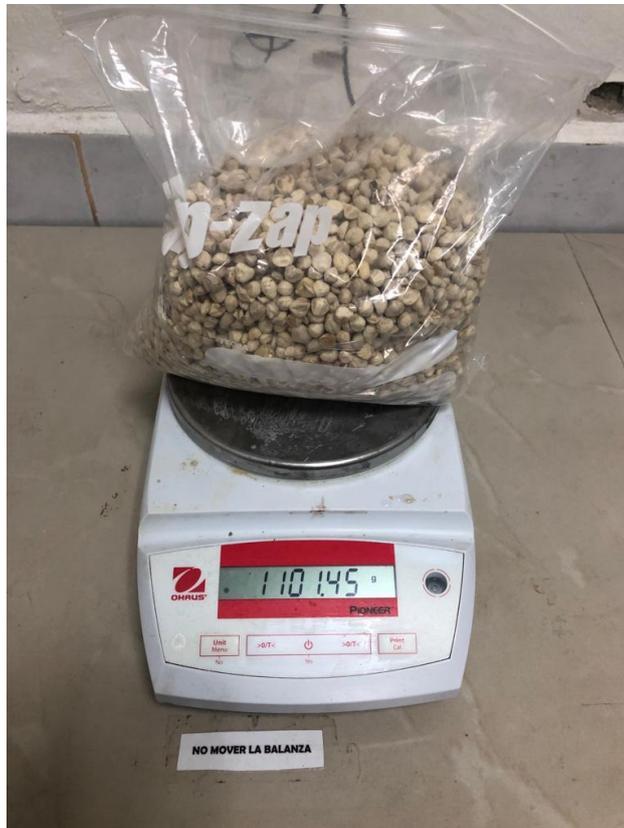
*Peso de semillas con cascara sin secado*



Fuente: Autor

## Figura 36

*Peso de semillas después de pasar por la estufa*



Fuente: Autor

**Figura 37**

*Cáscaras de la semilla*



Fuente: Autor

Para determinar la humedad presente en las semillas utilizamos un “Analizador de humedad” marca METTLER TOLEDO, modelo HB43-S Halogen.

**Figura 38**

*Analizador de humedad*



Fuente: Autor

Se procedió a moler las semillas en un molino marca “Corona”, ya que por su alta concentración de humedad no nos permitió realizarlo en un molino eléctrico. Obtuvimos un polvo fino después de tamizar, el cual al juntarse obtuvimos una pasta debido a sus propiedades.

**Figura 39**

*Molida de semillas*



Fuente: Autor

**Figura 40**

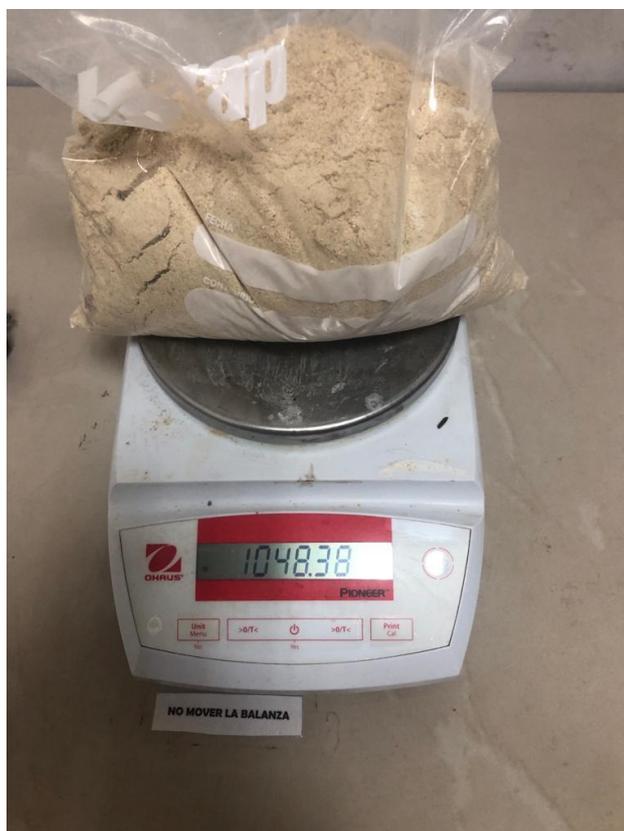
*Moringa molida*



Fuente: Autor

## Figura 41

*Peso de moringa molida*



Fuente: Autor

**Figura 42**

*Moringa en polvo*



Fuente: Autor

### **1.6 Desengrasado de las semillas de *Moringa Oleífera***

En este proceso tomamos muestras de 20,0 gramos de polvo de semilla de *M. Oleífera* y las colocamos en tres dedales de celulosa o papel filtro sellado para evitar derrames del polvo de la semilla en el extractor tipo Soxhlet. Este equipo se constituye por tres partes que son: balón, manga extractora y condensador. En el extractor colocamos nuestras muestras de polvo de Moringa en los sobres de papel filtro, en los balones colocamos 135 ml de n-Hexano y unimos el equipo, en cada unión colocamos aceite de vaselina para que sea fácil su desprendimiento

y en la parte superior del condensador colocamos algodón con papel de aluminio para evitar una posible evaporación del n-Hexano durante el tratamiento, encendemos el equipo y llave del agua. Este proceso tendrá una duración de 24 horas bajo vigilancia.

El polvo de Moringa después de pasar por el proceso de desengrasado, se coloca en la estufa a una temperatura de 105 °C en una duración de 24 horas.

El n-Hexano resultante lo ponemos en un rotavapor para extraer el aceite esencial de la Moringa y de esta manera recuperamos n-Hexano para seguir trabajando y así somos amigables con el medio ambiente durante nuestra experimentación.

El polvo obtenido se mantuvo en la estufa durante todo el tiempo de estudio a una temperatura promedio de 25 ° C.

**Figura 43**

*Moringa sin desengrasar*



Fuente: Autor

**Figura 44**

*Sobres de papel filtro con polvo de M. Oleifera*



Fuente: Autor

**Figura 45**

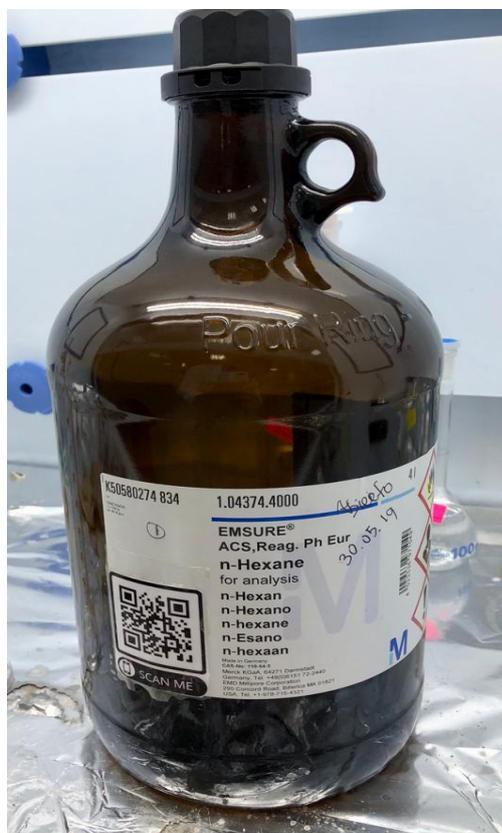
*Sobres de Moringa en extractor de equipo Soxhlet*



Fuente: Autor

**Figura 46**

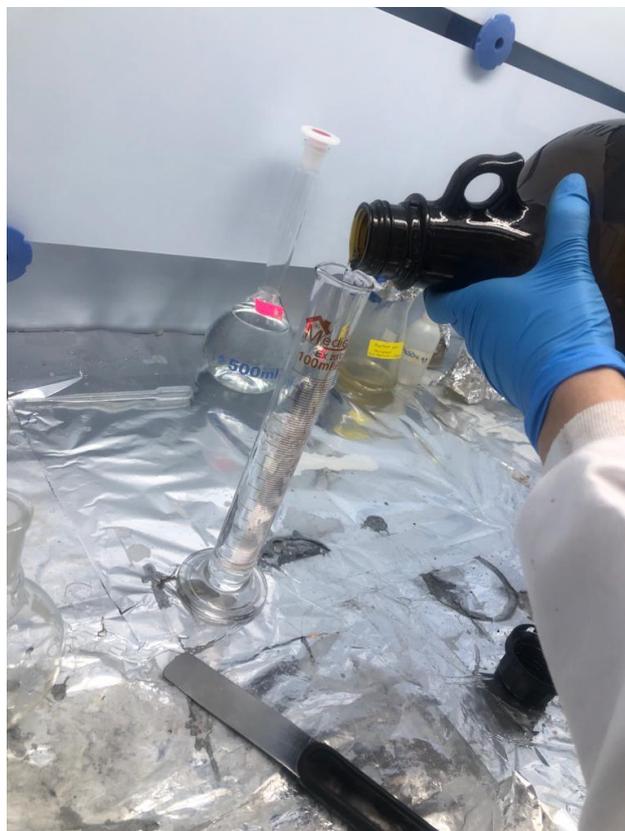
*n*-Hexano



Fuente: Autor

**Figura 47**

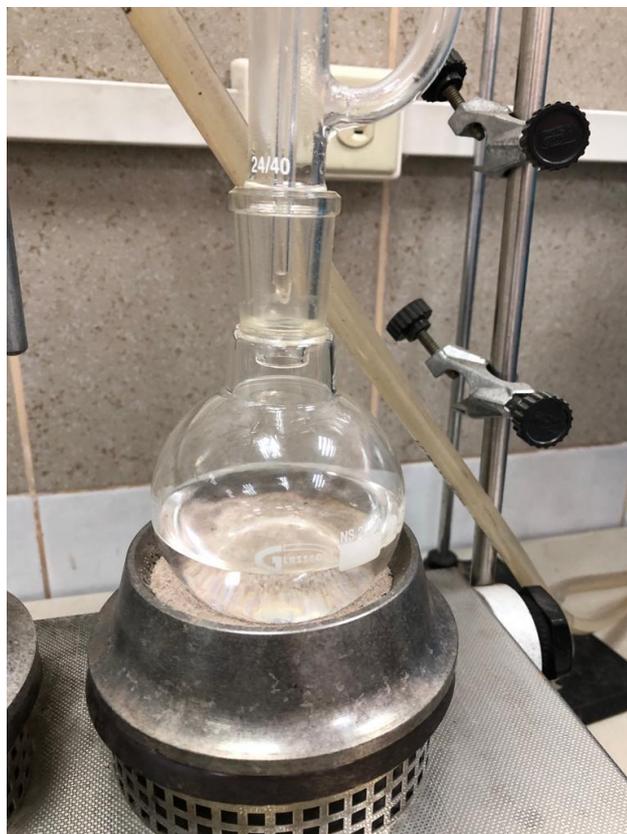
*Medición de n-Hexano para balones de equipo Soxhlet*



Fuente: Autor

**Figura 48**

*135 ml en balón de equipo Soxhlet*



Fuente: Autor

**Figura 49**

*Equipo Soxhlet armado*



Fuente: Autor

**Figura 50**

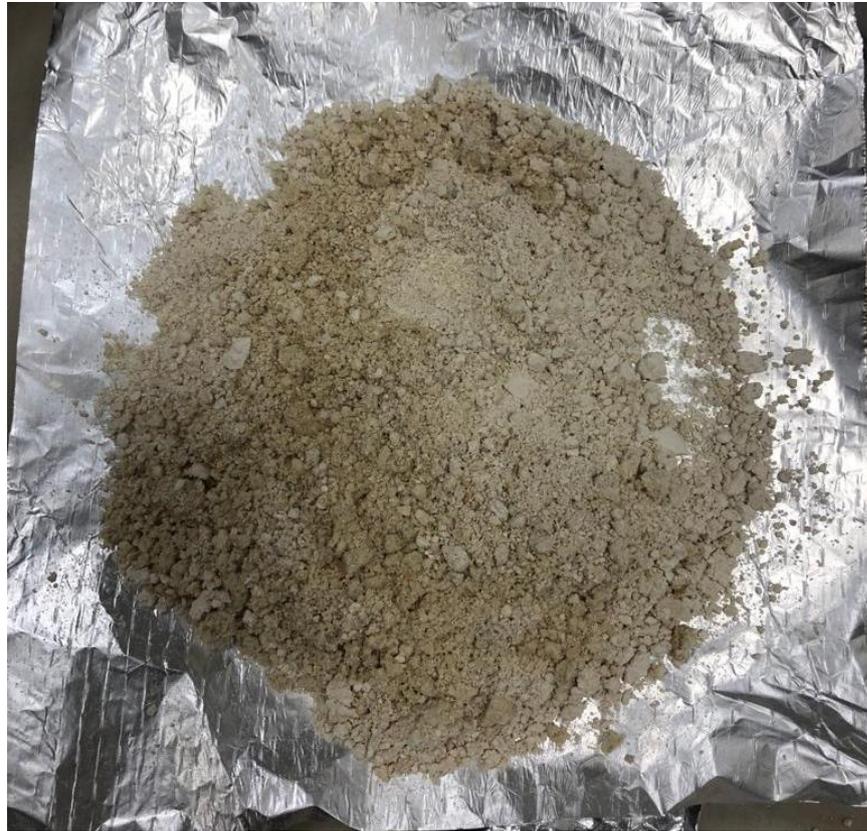
*Sobres de Moringa después de 24 h.*



Fuente: Autor

**Figura 51**

*Moringa sin grasa sin secar*



Fuente: Autor

**Figura 52**

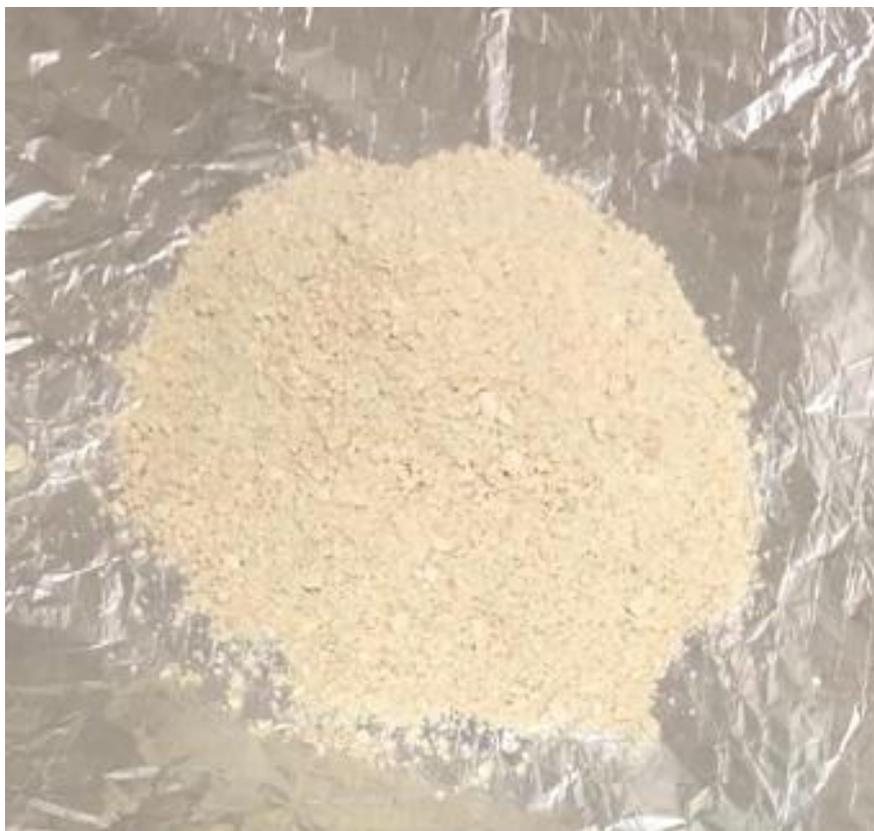
*Secado en estufa de Moringa desengrasada*



Fuente: Autor

**Figura 53**

*Moringa desengrasada seca*



Fuente: Autor

## Figura 54

### *Recuperación de n-Hexano en Rotavapor*



Fuente: Autor

### **1.7 Extracción del coagulante**

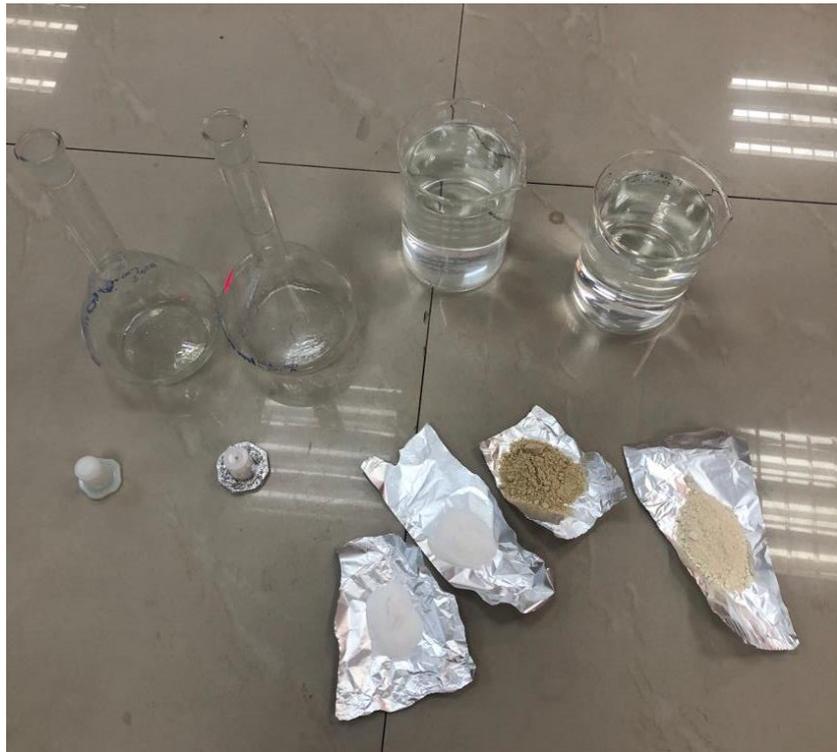
Siguiendo la metodología de (Jairo et al., n.d.). Se disolvieron en 10,0 ml de solución salina de NaCl, al 1,0% 0, 10 gramos de polvo de semilla desengrasada para obtener una concentración de 10.000 mg/L.

La solución resultante se centrifugó durante 30 minutos a 2000 rpm en una centrifugadora tipo HERMLE Z400. El líquido sobrenadante se filtró a presión reducida en un equipo de vacío marca MILLIPORE, modelo WP6111560.

El filtrado se preservó y se utilizó como coagulante natural en los ensayos de Jarras. El mismo procedimiento se usó para 0,10 gramos de polvo de semilla sin desengrasar.

**Figura 55**

*Materiales extracción de coagulante*



Fuente: Autor

**Figura 56**

*Solución salina de NaCl*



Fuente: Autor

**Figura 57**

*Polvo de semilla con y sin grasa*



Fuente: Autor

**Figura 58**

*Mezcla de solución salina con coagulante*



Fuente: Autor

## Figura 59

*Colocación de muestras en frascos falcon*



Fuente: Autor

**Figura 60**

*Centrifugación de muestras*



Fuente: Autor

## Figura 61

*Centrifugación a 2000 rpm por 30 min*



Fuente: Autor

**Figura 62**

*Equipo de Extracción al vacío*



Fuente: Autor

**Figura 63**

*Proceso de extracción al vacío*



Fuente: Autor

## Figura 64

### *Coagulantes*



Fuente: Autor

### 3.6 Aplicación del método Jar Test

#### Materiales, equipos y reactivos

##### Materiales

- Vasos de precipitación
- Varillas de vidrio
- Espátula
- Pipetas

## Equipos

- Jar Test
- Turbidímetro

## Coagulantes

- *Moringa Oleífera* sin desengrasar
- *Moringa Oleífera* con grasa
- Sulfato de Aluminio

Para realizar los ensayos se tomaron muestras de los meses de mayor turbidez del agua de la PTAP de Tundayme, en este caso fueron marzo y abril meses con mayor caudal y turbidez por las excesivas lluvias, en un total de 29 muestras. (46 NTU,93 NTU,107 NTU,182 NTU,335 NTU,172 NTU,338 NTU,80 NTU,96 NTU,100 NTU,104 NTU,112 NTU,135 NTU,185 NTU,197 NTU,210 NTU,225 NTU,240 NTU,254 NTU,272 NTU,285 NTU,290 NTU,296 NTU,310 NTU,328 NTU,332 NTU, 346 NTU, 365 NTU 385 NTU, 400 NTU). Estos ensayos fueron realizados aleatoriamente con diferentes dosis de coagulante natural con grasa ,sin grasa y con el Sulfato de Aluminio en las siguientes cantidades: Moringa con grasa y sin grasa, ( 220 mg/l, 445 mg/l, 512 mg/l, 870 mg/l, 1602 mg/l, 823 mg/l, 1616 mg/l, 383 mg/l, 459 mg/l, 478 mg/l, 497 mg/l, 536 mg/l, 645 mg/l, 884 mg/l, 942 mg/l, 1004 mg/l, 1075 mg/l, 1147 mg/l, 1214 mg/l, 1300 mg/l, 1362 mg/l, 1387 mg/l, 1415 mg/l, 1482 mg/l, 1568 mg/l, 1587 mg/l, 1654 mg/l, 1745 mg/l, 1849 mg/l, 1912 mg/l).

Y las dosis aplicadas con Sulfato de Aluminio para estas turbiedades son: 6mg/l,

mg/l, 14 mg/l, 24mg/l, 42mg/l, 22mg/l, 43mg/l, 10mg/l, 12 mg/l, 13 mg/l, 13 mg/l, 14 mg/l, 17mg/l, 23 mg/l, 25mg/l, 27mg/l, 29mg/l, 30mg/l, 32 mg/l, 35 mg/l, 36mg/l, 37mg/l, 40mg/l, 42mg/l, 44mg/l, 46mg/l, 49mg/l, 51mg/l. Cada uno de los resultados obtenidos es con la finalidad de obtener la variabilidad de la turbidez.

Se utilizó un equipo de Jar Test marca TOUCHWIN, el cual está equipado con seis paletas giratorias, la experimentación se realizó en cinco vasos de 800 ml de agua de la PTAP de Tundayme con las diferentes turbiedades y las diferentes cantidades de coagulantes. Las muestras que se adicionaron los coagulantes fueron sometidas a una mezcla rápida de 200 rpm por 2 minutos con un gradiente de velocidad de  $180 \text{ s}^{-1}$  y una mezcla lenta de 40 rpm durante 40 min con un gradiente de velocidad de  $225 \text{ s}^{-1}$ . Una vez terminado este proceso, se realizaron pruebas de turbidez con un turbidímetro marca “LaMotte SMART2 COLORIMETER”, se calibró con un “Blanco” de agua destilada, posterior a esto se colocó 10 ml de la muestra del agua a medir para obtener datos específicos. Se verificó el comportamiento de los coagulantes naturales (*Moringa Oleífera* con grasa y sin grasa) como el químico y más utilizado (Sulfato de Aluminio).

**Figura 65**

*Turbidez antes de aplicar Jar Test*



Fuente: Autor

**Figura 66**

*Disminución de turbidez mediante Jar Test*



Fuente: Autor

**Figura 67**

*Funcionalidad de Jar Test*



Fuente: Autor

**Figura 68**

*Turbidez post-tratamiento*



Fuente: Autor

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de la calidad del agua se realizó con 66 muestras obtenidas de diciembre a abril, durante la mañana o la tarde en diferentes horarios y diferentes días. Se observó que en los meses de marzo y abril se registraron los valores promedio más elevados en pH, conductividad, color y alcalinidad. Los TDS inferiores pertenecieron al mes de marzo y abril y los OD superiores correspondieron diciembre y febrero. Resultó un pH medio de 7.43, una conductividad de 54.41 $\mu$ S/cm, un color de 66.3 una alcalinidad de 50.14 un TDS de 31.95mg/l un OD de 2.54ppm y una salinidad de 0.036psu En la tabla 1 se pueden observar los detalles. Además, la turbidez presentó un valor medio 80 NTU.

**Tabla 9**

*Estadístico*

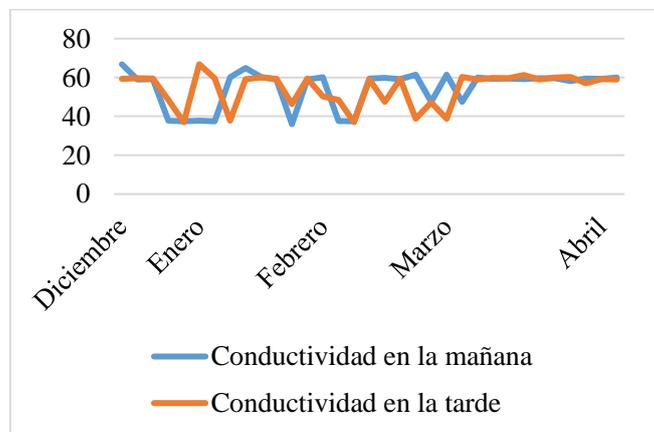
	pH	Conductividad	Color	Alcalinidad	TDS	OD	Salinidad
Mínimo	5,87	36,00	34,0	32,2	22,90	1,43	0,03
Máximo	8,10	66,80	87,0	70,0	41,40	4,28	0,04
Media	<b>7,44</b>	<b>54,42</b>	<b>66,29</b>	<b>50,14</b>	<b>31,95</b>	<b>2,54</b>	<b>0,04</b>
Mediana	7,59	59,12	74,00	51,30	30,40	2,11	0,04
DE	0,43	9,07	16,48	8,56	4,54	0,88	0,005

Fuente: Autor

Para una mejor ilustración de comportamiento de los datos registrados en ambos momentos del día (por la mañana y por la tarde) se puede observar de las figuras 69 a la 75. Se visualizaron valores similares en ambas horas del día principalmente alcalinidad y TDS, Sin embargo, si se observaron ligeras diferencias en color, conductividad, OD y salinidad.

**Figura 69**

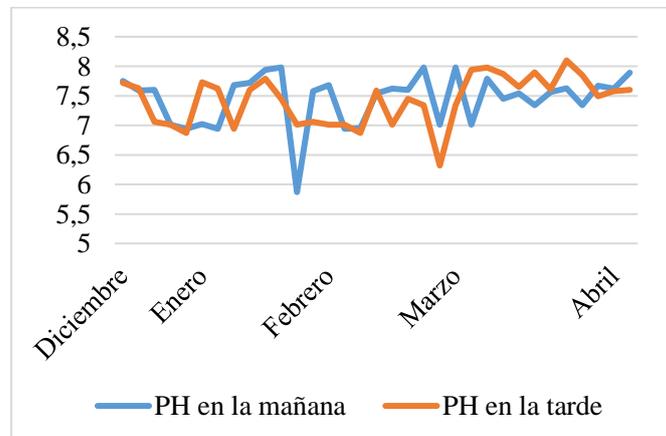
*Conductividad*



Fuente: Autor

**Figura 70**

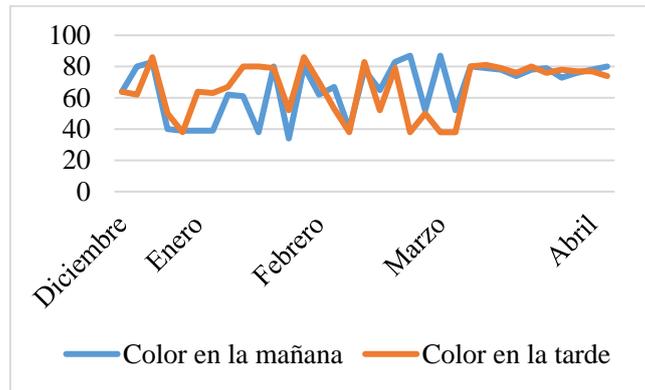
*pH*



Fuente: Autor

**Figura 71**

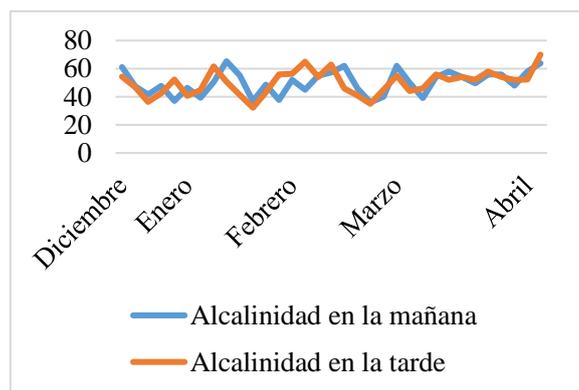
*Color*



Fuente: Autor

**Figura 72**

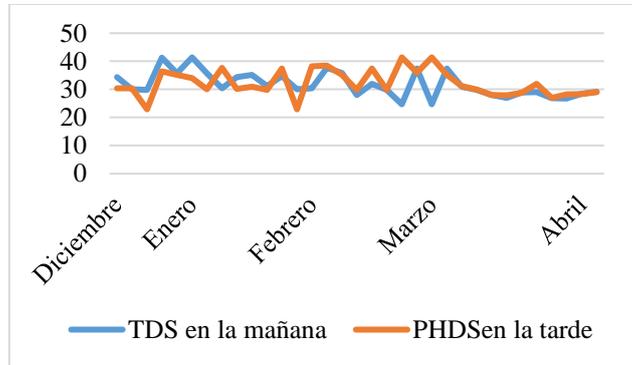
*Alcalinidad*



Fuente: Autor

**Figura 73**

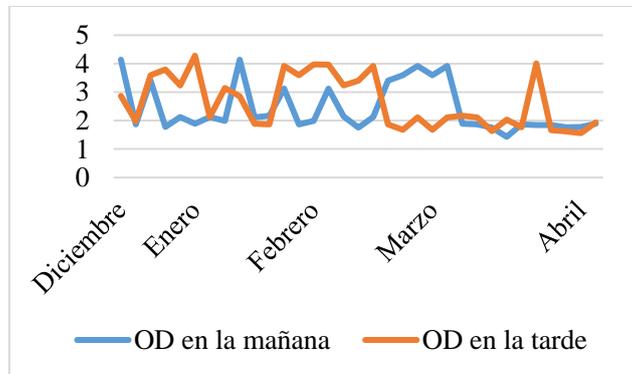
*Sólidos Suspendidos Totales*



Fuente: Autor

**Figura 74**

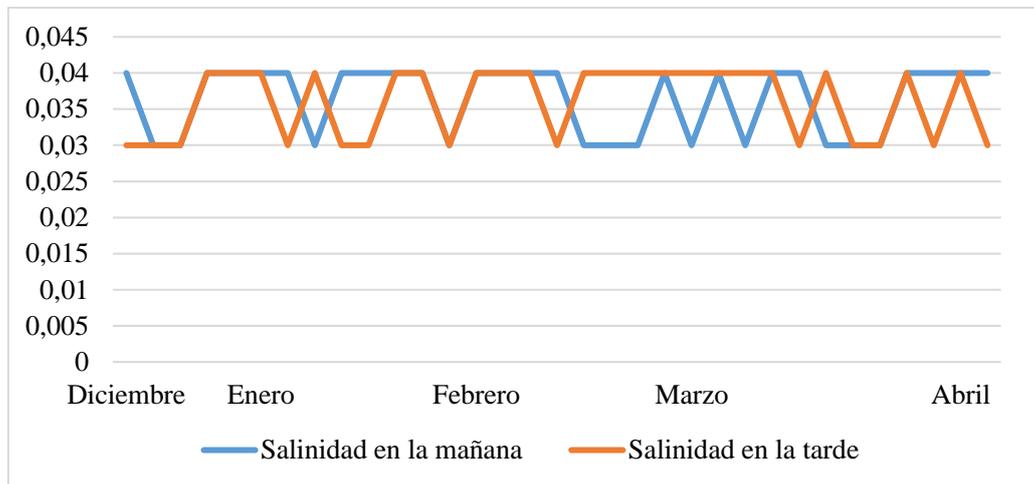
*Oxígeno Disuelto*



Fuente: Autor

**Figura 75**

*Salinidad*



Fuente: Autor

Para un registro más preciso mensual, en la tabla 10 se muestran los valores medios de las condiciones evaluadas para la caracterización de la calidad del agua. En todos los meses se registraron bajas dispersiones de datos ( $cv < 20\%$ ) lo que implica un comportamiento similar en todos ellos.

**Tabla 10***Condiciones evaluadas*

		Validos	Media	DE	Mínimo	Máximo
PH	Enero	16	7.371	0.539	5.870	7.980
	Febrero	16	7.245	0.420	6.320	7.980
	Marzo	20	7.652	0.277	7.010	8.100
	Abril	4	7.672	0.146	7.580	7.890
CONDUCTIVIDAD	Diciembre	10	52.390	11.240	37.000	66.800
	Enero	16	53.898	10.782	36.000	66.800
	Febrero	16	50.599	9.302	37.000	61.500
	Marzo	20	57.913	5.363	38.700	61.500
	Abril	4	59.343	0.448	59.000	60.000
COLOR	Diciembre	10	60.600	18.446	38.000	86.000
	Enero	16	62.750	17.703	34.000	86.000
	Febrero	16	62.313	16.752	38.000	87.000
	Marzo	20	72.950	13.621	38.000	87.000
	Abril	4	77.250	2.500	74.000	80.000
ALCALINIDAD	Diciembre	10	46.750	7.771	36.400	61.200
	Enero	16	46.881	9.251	32.200	65.300
	Febrero	16	49.900	9.520	35.000	65.000
	Marzo	20	52.475	5.310	39.000	62.000
	Abril	4	61.000	7.644	52.200	70.000

TDS	Diciembre	10	32.650	5.034	22.900	41.300
	Enero	16	32.875	4.335	22.900	41.400
	Febrero	16	33.875	4.686	24.700	41.400
	Marzo	20	29.955	3.997	24.700	41.400
	Abril	4	28.738	0.374	28.340	29.100
OD	Diciembre	10	2.878	0.879	1.780	4.140
	Enero	16	2.692	0.885	1.870	4.280
	Febrero	16	2.888	0.893	1.680	3.980
	Marzo	20	2.130	0.763	1.430	4.010
	Abril	4	1.790	0.166	1.560	1.930
SALINIDAD	Diciembre	10	0.035	0.005	0.030	0.040
	Enero	16	0.036	0.005	0.030	0.040
	Febrero	16	0.037	0.004	0.030	0.040
	Marzo	20	0.035	0.005	0.030	0.040
	Abril	4	0.037	0.005	0.030	0.040

Fuente: Autor

Al inicio del experimento, la turbiedad de la muestra inicialmente fue de (257.33 NTU; DE=105.05), mientras que después del experimento se registraron turbiedades en la moringa cercanas a 5.0 y sulfato de aluminio con de 0.452. Ver tabla 11.

**Tabla 11***Estadísticos descriptivos de la turbiedad*

RM Factor 1	Tratamiento	Mean	SD
Level 1	Moringa desengrasada	227.333	105.054
	Moringa sin desengrasar	227.333	105.054
	Sulfato de aluminio	227.333	105.054
Level 2	Moringa desengrasada	5.580	2.622
	Moringa sin desengrasar	5.032	2.368
	Sulfato de aluminio	0.452	0.210

Fuente: Autor

El análisis intrasujeto de la prueba de ANOVA de medidas repetidas (RM ANOVA) que considera la alcalinidad y la concentración como covariables mientras que el tratamiento era el factor fijo para determinar el cambio de turbiedad, reveló una significancia estadística de la intervención del tiempo combinado con el tratamiento para el resultado final de la turbiedad al igual que la interacción del tiempo con la concentración. En otras palabras, el tratamiento presentó un efecto sobre la turbiedad del 14.5 % mientras que el efecto la concentración de moringa o de sulfato aplicado fue del 22.9%. Detalles en la tabla 12.

**Tabla 12***ANOVA de medidas repetidas*

Within Subjects Effects						
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Tiempo	9.547.321	1	9.547.321	5.378	0.023	0.007
Tiempo * Tratamiento	196.835.666	2	98.417.833	55.437	< .001	<b>0.145</b>
Tiempo * Alcalinidad	305.244	1	305.244	0.172	0.679	2.245e-4
Tiempo * Concentración	310.944.83	1	310.944.83	175.14	< .001	<b>0.229</b>
Residuals	150.901.658	8	1.775.314			

Fuente: Autor

En el análisis entre sujetos ANOVA de medidas repetidas, el tratamiento resultó ser un factor interviniente en los resultados con un efecto del 14.6% mientras la concentración resultó ser un factor influyente en un 25.1%.

**Tabla 13**

*Between Subjects Effects*

Between Subjects Effects

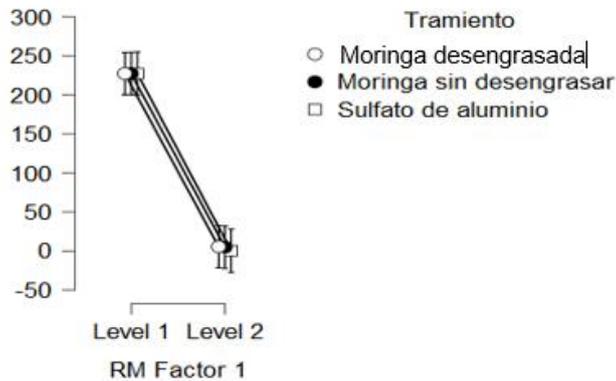
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Tratamiento	197.862.184	2	98.931.092	55.407	< .001	<b>0.146</b>
Alcalinidad	300.722	1	300.722	0.168	0.683	2.212e -4
Concentración	340.902.577	1	340.902.577	190.926	< .001	<b>0.251</b>
Residuals	151.769.059	85	1.785.518			

Fuente: Autor

La figura 76 muestra los resultados finales de los 3 tratamientos de moringa desengrasada, moringa sin desengrasar y el sulfato de aluminio.

**Figura 76**

*Tratamiento*



Fuente: Autor

Para poder realizar este análisis se asumió una heterogeneidad de varianza ( $p < 0.05$ ) mediante el estadístico de Levene, por lo que se emplearon pruebas post Hoc de comparación de Bonferroni.

**Tabla 14**

*Assumption Checks*

Assumption Checks

Test for Equality of Variances (Levene's)				
	F	df1	df2	p
Turbiedad inicial	91.535	2	87	< .001
Turbiedad final	4.430	2	87	0.015

Fuente: Autor

La prueba post hoc de comparación del ANOVA de medidas repetidas considerando reportó un cambio significativo de 223.64 NTU implicando un efecto muy importante según la prueba de Cohen.

**Tabla 15***PostHoc Comparisons - RM Factor 1*

## Post Hoc Comparisons - RM Factor 1

		95% CI for							
		Mean							
		Difference							
		Mean	Lower	Upper	SE	t	Cohen'	p <sub>bonf</sub>	p <sub>holm</sub>
		Difference	r				s d		
		e							
Level.	Level.	223.65	211.1	236.1	6.2	35.6	3.75	< .00	< .00
1	2		6	3	8	1		1	1

Fuente: Autor

Por otra parte, la comparación post hoc según el tratamiento no reportó una diferencia significativa entre los resultados de la moringa desengrasada y la moringa sin desengrasar, mientras que entre la Moringa desengrasada y el Sulfato de Aluminio se encontró una diferencia significativa importante negativa con una diferencia de 111.84 NTU, al igual que la diferencia entre la Moringa sin desengrasar. Ver tabla 16.

**Tabla 16***PostHoc Comparisons - Tratamiento*

## Post Hoc Comparisons – Tratamiento

		95% CI							
		Diferencia de medias	Inferior	Superior	DE	T	Cohen's d	p tukey	p bonf
Moringa									
Moringa, desengrasada	sin desengrasar	0.27	-18.57	19.12	7.72	0.04	0.004	0.99	1.00
	Sulfato de aluminio	-111.89	139.53	-84.24	11.32	9.89	-1.04	< .001	< .001
Moringa sin desengrasar									
	Sulfato de aluminio	-112.16	139.80	-84.51	11.32	9.91	-1.04	< .001	< .001

Fuente: Autor

Finalmente, se muestra el efecto simple principal del tiempo sobre los tratamientos en el cual se determina que el factor tiempo no fue un determinante para los resultados de la moringa desengrasada y la moringa sin desengrasar, mientras que si fue un determinante el producto del sulfato de aluminio implicando que la moringa desengrasada y sin desengrasar presenta resultados positivos independientemente del tiempo, mientras que

el sulfato de aluminio tiene que someterse a mayores tiempos para obtener mejores resultados.

**Tabla 17**

*Simple Main Effects*

Simple Main Effects

Level of Tratamiento	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Moringa desengrasada	0.028	1	0.028	0.166	0.687
Moringa sin desengrasar	0.015	1	0.015	0.107	0.746
<i>Sulfato de aluminio</i>	<i>14.076</i>	<i>1</i>	<i>14.076</i>	<i>8.374</i>	<i>0.007</i>

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general, mediante la caracterización que se realizó al agua de la PTAP de Tundayme, hemos podido determinar que los valores promedio fueron de pH: 7.44, Conductividad: 54.42  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Color: 66.29, Alcalinidad: 50.14, TDS: 31.95mg/l, OD: 2.54 ppm y una Salinidad de 0.04 psu. Estos parámetros incrementan ligeramente debido al temporal y exceso de lluvias presente en la zona de estudio.

Los resultados iniciales de la calidad de agua, muestran una medida de tendencia central y dispersión, además para determinar efectividad de la disminución de turbidez se utilizó el recurso de medida de ANOVA repetidas con un análisis intra sujeto e inter sujeto al encontrarse un comportamiento heterogéneo de datos mediante la prueba de

Levni se decidió realizar las pruebas de Born de comparación y edificarlo junto al coeficiente de intervalo de confianza del 95%, además la significancia estadística trabajada fue 0.05 ( $p < 0.05$ ). Dándonos, así como resultados que en la caracterización se determinó una turbidez promedio de 227.33 NTU, en el proceso de experimentación mediante Jar Test, aplicando *Moringa Oleífera* como coagulante obtuvimos una turbiedad promedio de 5.5 NTU aproximadamente, demostrando así que es muy factible la utilización de nuevos coagulantes orgánicos que son amigables con el medio ambiente y con la salud de los seres vivos. La extracción de la grasa de la *Moringa Oleífera* no es de mayor relevancia, ya que los resultados dados en la experimentación son similares, pero en cuanto a la utilización del Sulfato de Aluminio sigue siendo mayor su efectividad en la disminución de turbidez, por lo que se recomienda elevar las cantidades de mg/L de *Moringa Oleífera* como coagulante orgánico debido a sus propiedades y así disminuir el uso de coagulantes químicos que son más costosos y que causan impactos negativos en la salud y en el medio ambiente.

Por ende, debido a su bajo costo de preparación y sus altas propiedades es una excelente alternativa para la eliminación de turbidez de agua en diferentes zonas del país y del mundo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Aboelfetoh, E. F., Aboubaraka, A. E., & Ebeid, E. Z. M. (2021). Binary coagulation system (graphene oxide/chitosan) for polluted surface water treatment. *Journal of Environmental Management*, 288, 112481. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.112481>
- Ahmad, T., Ahmad, K., & Alam, M. (2021). Simultaneous modelling of coagulant recovery and reuse by response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, 285, 112139. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.112139>
- ANEXO 1, T. (2019). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua, Libro 6, Anexo 1 “Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua”* (pp. 1–40).
- Arciniega, A., & Salazar, J. (2021). *DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MEDIANTE LODOS ACTIVADOS PARA LA COMUNIDAD DE PESILLO, PARROQUIA OLMEDO*. Universidad Politecnica Salesiana.
- Arulmathi, P., Jeyaprabha, C., Sivasankar, P., & Rajkumar, V. (2019). Treatment of Textile Wastewater by Coagulation–Flocculation Process Using Gossypium herbaceum and Polyaniline Coagulants. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 47(7), 1800464. <https://doi.org/10.1002/CLEN.201800464>

- Ávalos Dávila, C., & Redondo Quesada Daiyen Rojas Camacho Jéssica Salazar Marín, V. (n.d.). *Metodologías inclusivas de aprendizaje mediante el uso de TIC: opiniones de estudiantes y docentes costarricenses Inclusive learning methodologies through use of ICT: Opinions of Costa Rican students and teachers.*
- Barajas, C., Garzón, A., & León, J. (2015). Determinación De La Dosis Óptima De Sulfato De Aluminio En El Proceso De Coagulación. *División De Ingenierias*, 2, 102.
- Bouchareb, R., Bilici, Z., & Dizge, N. (2021). Potato Processing Wastewater Treatment Using a Combined Process of Chemical Coagulation and Membrane Filtration. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 49(11), 2100017. <https://doi.org/10.1002/CLEN.202100017>
- Buenaño Bautista, B. B., Rafael Vera Calle, E., & Aldás Sandoval, M. B. (2019). Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment. *Ingeniería e Investigación*, 39(1), 24–35. <https://doi.org/10.15446/ING.INVESTIG.V39N1.69703>
- Camacho, R. D., & Peña, M. F. (2018). DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA POBLACIÓN DE LA PLAYITA, SITIO NUEVO MAGDALENA. In *Pakistan Research Journal of Management Sciences* (Vol. 7, Issue 5).
- Campos, V., Domingos, J. M. F., Dos Anjos, D. N., & Lira, V. S. (2019). Study of fluvial water treatability using  $\gamma$ -polyglutamic acid based biopolymer coagulant. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 91(3). <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920190051>
- COA. (2017). COA, Código Orgánico del Ambiente. *Registro Oficial Suplemento* 983,

1–92.

Cui, H., Huang, X., Yu, Z., Chen, P., & Cao, X. (2020). Application progress of enhanced coagulation in water treatment. *RSC Advances*, *10*(34), 20231–20244. <https://doi.org/10.1039/D0RA02979C>

Dayarathne, H. N. P., Angove, M. J., Paudel, S. R., Ngo, H. H., Guo, W., & Mainali, B. (2022). Optimisation of dual coagulation process for the removal of turbidity in source water using streaming potential. *Groundwater for Sustainable Development*, *16*, 100714. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2021.100714>

Diseños, E. Y., Del, D., & Agua, S. D. E. (2013). *GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE EL PANGUI PROYECTO : POTABLE , ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DEL SECTOR.*

ECUADOR, C. D. L. R. DEL. (2021). CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. *Registro Oficial*, *449*(20), 25–2021.

Fernández, G., & Tuso, W. (2020). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA POBLACIÓN DE MULALÓ, PROVINCIA DE COTOPAXI.*

FLUENCE. (2019). *Clarificación de Aguas y Efluentes / Fluence.*

Gómez, K. P. G. (2017). MORINGA (Moringa oleífera Lam.), A NIVEL LABORATORIO. In *Universidad San Carlos de Guatemala.*

HACH. (2020). *Alcalinidad - Productos y descripción general de los parámetros de calidad del agua.*

He, J., Zhang, Y., Ni, F., Tian, D., Zhang, Y., Long, L., He, Y., Chen, C., & Zou, J. (2022). Understanding and characteristics of coagulation removal of composite

pollution of microplastic and norfloxacin during water treatment. *Science of The Total Environment*, 831, 154826.  
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.154826>

Hernández Bojorge, S., Niguelie Cawich, Z., Gómez Lejarza, M., & González Moncada, C. (2017). Eficacia de la semilla de Moringa oleífera en el aclaramiento del agua. *Universidad y Ciencia*, 9(14), 31–44. <https://doi.org/10.5377/uyc.v9i14.4557>

Jairo, J., Díaz, F., Ballutdajud, G., Pablo, J., & Miranda, R. (2018). Influence of Storage Time of Moringa oleifera Seed on the Coagulant Activity Efficiency for Raw Water Treatment. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(9).  
<https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i9/121221>

Jairo, J., Díaz, F., Bermúdez Roa, S., María, A., & Tordecilla, E. (n.d.). *Efficiency of Moringa Oleífera seed as a natural coagulant to remove turbidity from Sinú river's water* *Eficiência da semente Moringa Oleífera como coagulante natural para a remoção da turbidez do rio Sinú*.

LORHUyA. (2014). LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. *Registro Oficial, APROVECHAM*, 1–43.

Mahanna, H. (2018). Effect of Operational Conditions on Performance of Deep Sand Filter in Turbidity Removal. *Trends in Technical & Scientific Research*, 02(5).  
<https://doi.org/10.19080/ttsr.2018.02.555597>

Megersa, M., Beyene, A., Ambelu, A., & Triest, L. (2019). Coupling Extracts of Plant Coagulants With Solar Disinfection Showed a Complete Inactivation of Faecal Coliforms. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 47(1), 1700450.  
<https://doi.org/10.1002/CLEN.201700450>

Meza-leones, M., Riaños-donado, K., Mercado-martínez, I., & Olivero-verbel, R. (2018).

*Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico. 17(2), 95–103.*

Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL. In *ONU*.

Olivero Verbel, R., Florez Vergara, A., Vega Fellizola, L., & Villegas de Aguas, G.

(2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en clarificación de aguas. *Producción + Limpia, 12(2), 71–79.*

<https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a6>

OMS. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. *Organización Mundial de La Salud, 4, 608.*

PUCHA, B. (2013<sup>a</sup>). *GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE EL PANGUI PROYECTO : ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE , ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DEL SECTOR TUNDAYME , CANTÓN EL PANGUI , PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE.*

PUCHA, B. (2013<sup>b</sup>). *GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE EL PANGUI PROYECTO : POTABLE , ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DEL SECTOR.*

Ren, B., Weitzel, K. A., Duan, X., Nadagouda, M. N., & Dionysiou, D. D. (2022). A comprehensive review on algae removal and control by coagulation-based processes: mechanism, material, and application. *Separation and Purification*

*Technology*, 293, 121106. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2022.121106>

Resourcefulness. (2021). *Salinidad - Recursohabilidad*.

Ruelas-Leyva, J. P., Contreras-Andrade, I., Sarmiento-Sánchez, J. I., Licea-Claveríe, A., Jiménez-Lam, S. A., Cristerna-Madrigal, Y. G., & Picos-Corrales, L. A. (2017). The Effectiveness of *Moringa oleifera* Seed Flour and Chitosan as Coagulant-Flocculants for Water Treatment. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 45(8), 1600339. <https://doi.org/10.1002/CLEN.201600339>

SENAGUA. (2021). Estrategia Nacional de Calidad del Agua. *Ministerio de Ambiente, Ecuador*, 97.

Suquet, J., Godo-Pla, L., Valentí, M., Ferràndez, L., Verdaguer, M., Poch, M., Martín, M. J., & Monclús, H. (2021). Assessing the effect of catchment characteristics to enhanced coagulation in drinking water treatment: RSM models and sensitivity analysis. *Science of The Total Environment*, 799, 149398. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149398>

Valverde, K. C., Paccola, E. A. de S., Pomini, A. M., Yamaguchi, N. U., & Bergamasco, R. (2018). Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. *Revista Ambiente & Água*, 13(3). <https://doi.org/10.4136/AMBI-AGUA.2135>

Zeas, B. J. C. (2018). Estudio técnico económico del uso de la moringa como coagulante-floculante en aguas superficiales. *Universidad de Guayaquil*, 59–74.