



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TEMA:
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NOPAL
(*Opuntia ficus-indica*) PARA LA DISMINUCIÓN DE LA
TURBIDEZ DEL RÍO CARRIZAL EN ÉPOCA LLUVIOSA**

**AUTOR:
TERÁN SÁNCHEZ JORGE LUIS**

**TUTOR:
ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL, M.Sc.**

CALCETA, JULIO DE 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Jorge Luis Terán Sánchez**, con cédula de ciudadanía **131556640-4** declaro bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) PARA LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL RÍO CARRIZAL EN ÉPOCA LLUVIOSA** es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.




Jorge Luis Terán Sánchez

CC: 131556640-4

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Jorge Luis Terán Sánchez, con cédula de ciudadanía **131556640-4**, autorizo a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) PARA LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL RÍO CARRIZAL EN ÉPOCA LLUVIOSA**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



Jorge Luis Terán Sánchez

CC: 131556640-4

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Joffre Andrade Candell., MsC, certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) PARA LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL RÍO CARRIZAL EN ÉPOCA LLUVIOSA**, que ha sido desarrollado por **Jorge Luis Terán Sánchez**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Joffre Andrade Candell., MsC

CC: 1311651390

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) PARA LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL RÍO CARRIZAL EN ÉPOCA LLUVIOSA**, que ha sido desarrollado por **Jorge Luis Terán Sánchez**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Blga. María Fernanda Pincay Cantos, MsC.

CC: 092175728-2

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**Ing. Jonathan G. Chicaiza
Intriago, MsC.**

CC:131211192-3

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**Ing. Evelin Laura Zambrano
Andrade, MsC.**

CC: 131043478-0

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A mis padres que han sido mis pilares fundamentales, los que han luchado para poder apoyarme en cada una de las etapas que he atravesado a lo largo de mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me acogió y ayudó a crecer como persona a través de sus enseñanzas.

A cada uno de los docentes, que al caminar en esta etapa llamada Universidad me brindaron sus conocimientos y experiencias dentro y fuera del aula, ayudándome a crecer profesionalmente.

A mi tutor Ing. Joffre Andrade, por su apoyo y asesoramiento en este trabajo, el cual más que docente ha sido un amigo, que ha sabido apoyarme en ciertos momentos difíciles de mi vida.

A cada una de aquellas personas que, de alguna forma u otra, me apoyaron de manera desinteresada para poder llegar a este momento.

JORGE LUIS TERÁN SÁNCHEZ

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, los cuales han luchado y batallado para poder hacer que llegue a este momento. A mi madre por su paciencia y perseverancia por ayudarme a que cumpla cada una de mis metas. A mi padre, el cuál en la actualidad ya no me acompaña, pero donde quiera que esté, sabe que gracias a sus enseñanzas hoy soy el hombre que soy.

A mi esposa Estrella e hija Camila, quienes han sido mi norte para poder continuar sin rendirme, por las cuales lucho cada día para cumplir cada uno de los objetivos planteados.

A mis hermanas Gabriela y Nayely que de una u otra manera me han apoyado, en cada momento del transitar de mi vida.

JORGE LUIS TERÁN SÁNCHEZ

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO DE TABLAS	xi
CONTENIDO DE GRÁFICOS	xi
CONTENIDO DE IMÁGENES	xii
CONTENIDO DE FÓRMULAS	xii
RESUMEN	xiii
PALABRAS CLAVE	xiii
ABSTRACT	xiv
KEY WORDS	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 COAGULANTES	5
2.1.1 COAGULANTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS	5
2.1.2 COAGULANTES SINTÉTICOS	5
2.1.3 COAGULANTES NATURALES	6

2.2	COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	7
2.2.1	COAGULACIÓN	7
2.2.2	FLOCULACIÓN	7
2.2.3	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN	7
2.3	NOPAL (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	9
2.4	CALIDAD DEL AGUA	11
2.4.1	TURBIDEZ DEL AGUA.....	12
2.5	SEDIMENTACIÓN DEL AGUA	13
2.5.1	FORMAS DE SEDIMENTACIÓN.....	13
2.5.2	TIPOS DE SEDIMENTACIÓN	13
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		
3.1	UBICACIÓN.....	15
3.2	DURACIÓN.....	15
3.3	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	16
3.3.1	MÉTODOS	16
3.3.2	TÉCNICAS	17
3.4	UNIDADES EXPERIMENTALES	17
3.5	VARIABLES A MEDIR	17
3.5.1	VARIABLE INDEPENDIENTE	17
3.5.2	VARIABLE DEPENDIENTE.....	17
3.6	MANEJO DEL EXPERIMENTO	17
3.6.1	FASE 1: OBTENCIÓN DE HARINA Y POLIELECTROLITO A PARTIR DEL NOPAL (<i>Opuntia ficus-indica</i>) PARA SU POSTERIOR USO COMO COAGULANTE NATURAL.....	17
3.6.2	FASE 2: DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA EN LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO COAGULANTE NATURAL.....	18
3.7	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	21

3.7.1	FACTORES DE ESTUDIO	22
3.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	23
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1	OBTENCIÓN DE HARINA Y POLIELECTROLITO A PARTIR DEL NOPAL (<i>Opuntia ficus-indica</i>) PARA SU POSTERIOR USO COMO COAGULANTE NATURAL.	24
4.2	DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA EN LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO COAGULANTE NATURAL. 26	
4.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	32
4.3.1	TURBIDEZ	32
4.3.2	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	35
4.4	VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS	37
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
5.1	CONCLUSIONES	38
5.2	RECOMENDACIONES	39
	BIBLIOGRAFÍA	40
	ANEXOS	51

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Taxonomía Nopal	10
Tabla 3.1. Fuentes de variación del análisis de varianza.	22
Tabla 3.2. Composición Tratamientos.	23
Tabla 4.1. Resultados Testigo Prueba de Jarras.....	30
Tabla 4.2. Resultados Prueba de Jarras (Harina Nopal).	30
Tabla 4.3. Resultados Prueba de Jarras (Polielectrolito Nopal).....	31
Tabla 4.4. ANOVA % Remoción Turbidez.....	32
Tabla 4.5. Prueba Tukey Dosis: Subconjunto homogéneos (Turbidez).	33
Tabla 4.6. Prueba Tukey Dosis: Comparaciones múltiples (Turbidez).	33
Tabla 4.7. Prueba Tukey RPM: Subconjunto homogéneos (Turbidez).	33
Tabla 4.8. Prueba Tukey RPM: Comparaciones múltiples (Turbidez).	34
Tabla 4.9. ANOVA % Remoción SST.....	35
Tabla 4.10. Prueba Tukey Dosis: Subconjunto homogéneos (SST).....	35
Tabla 4.11. Prueba Tukey Dosis: Comparaciones múltiples (SST).	36
Tabla 4.12. Prueba Tukey RPM: Subconjunto homogéneos (SST).....	36
Tabla 4.13. Prueba Tukey RPM: Comparaciones múltiples (SST).	36

CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Remoción de la turbidez a partir de la harina de nopal.	27
Gráfico 4.2. Remoción de SST a partir de harina de nopal.....	27
Gráfico 4.3. Remoción de la turbidez a partir de polielectrolito de nopal.	28
Gráfico 4.4. Remoción de SST a partir de polielectrolito de nopal.....	29
Gráfico 4.5. Interacciones de factores en la remoción de la turbidez.....	34

CONTENIDO DE IMÁGENES

Imagen 2.1. Zonas de Coagulación.....	9
Imagen 2.2. Partes Nopal (Opuntia ficus-indica)	10
Imagen 3.1. Ubicación zona de estudio.....	15
Imagen 3.2. Diagrama de flujo de prueba de jarras.....	20
Imagen 4.1. Diagrama de Flujo Harina y Polielectrolito de Nopal.	25

CONTENIDO DE FÓRMULAS

ECUACIÓN 3.1. Fórmula Cálculo Eficiencia de Remoción.....	21
---	----

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para la disminución de la turbidez del río Carrizal en época lluviosa. Se recolectaron pencas de nopal en la ciudad de Ambato, extrayendo el mucílago, para la obtención de harina (solución al 8%) y polielectrolito (mezcla con etanol al 96%) de nopal. Se aplicó un diseño completamente al azar con tres factores: Coagulante (harina y polielectrolito), dosis (10, 20 y 40 ml) y la velocidad de agitación (20, 40 y 60 RPM). Se generaron un total de 18 tratamientos, utilizando al sulfato de aluminio como testigo. Los niveles iniciales de turbidez fueron de 194 NTU y para SST de 572,13 mg/L de muestras tomadas del río Carrizal. En cuanto a la aplicación la harina de nopal el T₇ presento un 78,89% de remoción de turbidez y un 78,77% en la remoción de SST. Mientras que, el polielectrolito en el T₁₆ obtuvo un 99,67% para turbidez y un 99,65% para SST, siendo estos valores los más altos durante la aplicación de ambos coagulantes. En cuanto a la hipótesis planteada, el T₁₈ (40 ml y 60 RPM) remueve la turbidez del agua del río Carrizal en un 95,61%, a pesar de que el T₁₆ (10 ml y 60 RPM) presentó una mejor remoción (99,67%), se sugiere la idoneidad del T₁₈ ya que su eficiencia no se encuentra tan alejada del T₁₆. Se recomienda promover el uso del coagulante natural de nopal, en forma de polielectrolito.

PALABRAS CLAVE

Coagulante natural, nopal, mucílago de nopal, remoción de turbidez.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the efficiency of the nopal (*Opuntia ficus-indica*) for the reduction of the turbidity of the Carrizal River in the rainy season. Nopal leaves were collected in Ambato city, extracting the mucilage, to obtain flour (8% solution) and polyelectrolyte (mixture with 96% ethanol) of nopal. A completely randomized design with three factors was applied: Coagulant (flour and polyelectrolyte), dose (10, 20 and 40 ml) and stirring speed (20, 40 and 60 RPM). A total of 18 treatments were generated, using aluminum sulfate as a control. The initial levels of turbidity were 194 NTU and for SST 572,13 mg/L of samples taken from the Carrizal River. Regarding the application of nopal flour, T₇ presented a 78,89% removal of turbidity and a 78,77% removal of SST. While, the polyelectrolyte in T₁₆ obtained 99,67% for turbidity and 99,65% for SST, these values being the highest during the application of both coagulants. Regarding the proposed hypothesis, T₁₈ (40 ml and 60 RPM) removes the turbidity of the Carrizal river water by 95,61%, despite the fact that T₁₆ (10 ml and 60 RPM) presented a better removal (99,67%), the suitability of T₁₈ is suggested since its efficiency is not so far from T₁₆. It is recommended to promote the use of the natural coagulant of nopal, in the form of polyelectrolyte.

KEY WORDS

Natural coagulant, nopal, nopal mucilage, turbidity removal.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Olivero *et al.* (2017) mencionan que, el agua derivada de los ríos, arroyos, lagos, lagunas, manantiales entre otras fuentes, traen consigo una gran cantidad de impurezas como gases, residuos, microorganismos, etc, los cuales pueden afectar la salud humana. Gómez-Duarte (2018) indica que además de todas estas impurezas antes mencionadas también se puede encontrar bacterias, virus y parásitos, los cuales como partículas coloidales pueden incorporarse a otro tipo de cuerpo en suspensión. Por lo antes mencionado Lozano (2018) señala que, todas estas impurezas generan un incremento en la turbidez de las aguas.

Según Núñez (2017) la turbidez está ligada directamente a la cantidad de SST y coloides presentes en un cuerpo hídrico. Ballesteros y Ñacato, (2020) mencionan que, el aumento de sólidos en suspensión en los ríos se debe a la problemática de la deforestación en las cuencas, ya que al no existir cobertura vegetal se facilita el transporte de sedimentos.

La turbidez dificulta la transmisión de luz en el agua y permite que se adhieran metales pesados, compuestos tóxicos y pesticidas (Obando, 2014). Por otra parte, la turbidez ha sido ampliamente aplicada como criterio de evaluación de la calidad del agua, en fuentes de abastecimiento de potabilización de agua y en sistema de distribución (Montoya *et al.*, 2011). Es por ello, que es importante reducir la turbidez para facilitar el proceso de potabilización y que esta pueda ser apta para el consumo humano (Macías, 2015).

Aveiga *et al.* (2019); Barahona y Tapia (2010) señalan que, la costa de ecuatoriana presenta problemas en la obtención de aguas que cumplan con varios criterios (cantidad, continuidad y costos razonables) para sistemas de agua potable. Estos problemas según Pacheco (2018); Empresa Pública Municipal Mancomunada de Agua Potable (EMMAP-EP, 2019) son ocasionados por la época lluviosa (enero-abril), en donde la turbidez tiende a presentar niveles altos (>4500 NTU), causando la paralización de las plantas de tratamientos de aguas.

En la provincia de Manabí, en época lluviosa el alto grado de turbidez (>4500 NTU), imposibilita la captación de agua para el proceso de potabilización (Macías, 2015).

En el ámbito local, el río Carrizal es la fuente de captación de la planta de tratamiento La Estancilla, sin embargo, este río en época lluviosa presenta niveles altos de turbidez (>1500 NTU), por lo que la empresa de agua potable paraliza sus maquinarias para evitar daños, lo cual genera inconvenientes en el abastecimiento de agua potable a la población de 5 cantones (Junín, Bolívar, Tosagua, Sucre y San Vicente) (EMMAP-EP, 2019), por otra parte, los niveles altos de turbidez son atribuidos a la deforestación de la Cuenca Carrizal-Chone (Rodríguez y Zambrano, 2017) y las actividades de las zonas ganaderas y agrícolas que se encuentran a lo largo de las orillas del río (EMMAP-EP, 2019).

Ante lo expuesto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuánto disminuye el coagulante natural la turbidez del agua en el río Carrizal en época lluviosa?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los coagulantes sintéticos utilizados para la disminución de la turbidez son compuestos inorgánicos basado en hierro y aluminio (sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico) (Contreras Lozano *et al.*, 2015).

Bravo (2017); Olivero *et al.* (2017) destacan al $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (sulfato de aluminio) y el FeCl_3 (cloruro férrico) como unos de los coagulantes sintéticos más utilizados. La adquisición de estos productos en ocasiones suele ser costosos (López, 2018; Guzmán *et al.*, 2013) debido a que suelen ser importados (Bravo, 2017), además, estos compuestos pueden ocasionar efectos negativos en la salud y el medio ambiente (Escobal, 2018). Es por ello, que la búsqueda de coagulantes naturales para la disminución de la turbidez en el agua se ha convertido en una opción más económica y amigable con el medio ambiente.

Según Ortiz (2020) existen numerosos estudios que reportan a los coagulantes naturales como de gran potencial para la clarificación del agua. Además, Cabrera *et al.* (2017); Olivero *et al.* (2017) mencionan que la utilización de coagulantes naturales presenta ventajas como rentabilidad, baja probabilidad de afectar otros parámetros (pH, temperatura, etc) y son biodegradables.

Bravo (2017) menciona que los coagulantes naturales de origen vegetal están libres de tóxicos, su obtención es de bajo costo gracias a que se encuentra localmente, tiene un bajo impacto en el medio ambiente, generan volúmenes hasta 5 veces más bajos de lodos que los coagulantes sintéticos, además, de que estos lodos contienen un alto valor nutricional.

La utilización de estos coagulantes permite mantener los niveles requeridos de ciertos parámetros (pH, sólidos, turbidez entre otros) dictaminados por el Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente (TULSMA, 2015), los cuales garantizan el bienestar de la población y brindan sostenibilidad en la demanda actual y futura de este recurso, tal como se lo plantea en el Objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017).

Canaza y Mamani (2020) mencionan que entre los coagulantes más utilizados están *Caesalpinia spinosa* (tara), *Tamarindus indica* (tamarindo), Aloe vera (sábila), *Moringa oleífera*, *Opuntia ficus-indica* (nopal o tuna). González *et al.* (2020) mencionan que, la eficiencia de género *Opuntia* como coagulante para la disminución de turbidez en aguas ha sido satisfactorio. Todo esto debido a que este género se caracteriza por producir hidrocoloide (mucílago), el cual retiene grandes cantidades de agua por medio de la formación de redes moleculares (Choque-Quispe *et al.*, 2021)

Cáceres y Castiblanco (2020) señalan que el coagulante obtenido de *Opuntia ficus-indica*, ha obtenido una eficiencia del 98% en la disminución de turbidez en el agua, valor similar al de la eficiencia de *Moringa oleífera*, siendo otro de los coagulantes naturales más estudiados (Canaza y Mamani, 2020).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia del nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural para la disminución de la turbidez en el río Carrizal en época lluviosa.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener harina y polielectrolito a partir del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para su posterior uso como coagulante natural.
- Determinar el tratamiento con mayor eficiencia en la disminución de la turbidez usando coagulante natural.

1.4 HIPÓTESIS

El polielectrolito producido a partir del nopal con una dosis de 40 ml y 60 RPM disminuirá la turbidez del agua del río Carrizal.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 COAGULANTES

Medina (2018) señala que los coagulantes son compuestos orgánicos artificiales constituidos por una larga cadena de moléculas pequeñas. Y son categorizados acorde a su naturaleza como: los coagulantes naturales y sintéticos. O se clasifican acorde al carácter iónico de su grupo activo como son: catiónicos (cargadas positivamente), aniónicos (cargadas negativamente), o no iónicos (carga neutra).

2.1.1 COAGULANTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS

Para la remoción de la turbidez en cuerpos hídricos, el sulfato de aluminio es uno de los coagulantes más utilizados, sin embargo, este se asocia a enfermedades como Alzheimer (Aguirre *et al.*, 2018).

Choque-Quispe *et al.* (2021) en su publicación “Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua” señala que la capacidad clarificante de los coagulantes naturales muestran una gran eficiencia, tal es el caso en su trabajo en donde utiliza 3 coagulantes naturales, en lo cual se muestra un incremento significativo con el aumento de la dosis de coagulante del 1% al 3%. Sin embargo, en su trabajo la utilización del coagulante natural de *Echinopsis pachanoi* alcanza valores de 48,58% y 99,32% respectivamente.

2.1.2 COAGULANTES SINTÉTICOS

Del Valle (2017) indica que, son compuestos orgánicos generados a partir de la transformación química del carbón y el petróleo, incluyendo a una gran parte de polímeros de manufactura industrial. Este mismo autor menciona que estos se pueden clasificar en:

- **Alumbre o sulfato de aluminio:** es una sustancia química que domina el mercado en todo el mundo, gracias a los costos razonables de producción, efectividad y adquisición del producto. Alrededor del mundo las plantas potabilizadoras de agua consideran en sus procesos el uso del

sulfato de aluminio, a su vez el personal técnico está capacitado para la aplicación del mismo con sus diferentes variables.

En el estudio “Tratamiento de agua residual sintética contaminada con colorante negro 601 mariposa mediante *Moringa oleífera*” se menciona que, entre los coagulantes sintéticos de mayor uso están los minerales de hierro y aluminio, no obstante, estos compuestos suelen ser arrastrados durante la sedimentación, convertido esto en un problema ambiental al momento de incorporar estas aguas a los ríos, puesto que la una alta dosis podría llegar a ser toxica para los seres vivos en un cuerpo hídrico, además, poseen precio elevados por su alta demanda comercial (Pantoja, 2019).

2.1.3 COAGULANTES NATURALES

Azabache y Rodríguez (2019) indican que, los coagulantes de origen natural presentan mayores ventajas como: menos dosis por su alto peso molecular, formación de niveles bajos de lodo, aumento de la carga iónica, reducción de niveles de aluminio y menor costo comparado con el los polímeros sintéticos.

- **Polielectrolitos catiónicos:** poseen una carga fuerte positiva.
- **Polielectrolitos aniónicos:** Los polímeros floculantes suelen ser aniónicos y no iónicos y, a veces, suelen ser añadidos después de la floculación para aumentar el tamaño y el peso de los flóculos formados, aumentando su peso molecular y longitud, forman puentes polímeros que se unen para formar aglomerados fáciles de sedimentar.

Flores *et al.* (2019) en su publicación “Uso del programa SIMAPRO para evaluar coagulantes naturales en el tratamiento de aguas” en la revista Biotecnia, destaca que, actualmente se están sustituyendo los coagulantes/floculantes de iones multivalentes (Al^{+3} , Fe^{+3} , Fe^{+2} , Ca^{+2} o Mg^{+2}) por coagulantes/floculantes de origen natural (*Opuntia spp.*, *quitosan*, *Moringa Oleífera*, etc.) que han mostrado tener una eficiencia para la clarificación, disminución Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y fosfatos en aguas.

2.2 COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

2.2.1 COAGULACIÓN

La coagulación se define como la adición de productos químicos para que las partículas y contaminantes disueltos en el agua se aglutinen en partículas más grandes que pueden ser eliminadas mediante procesos de sedimentación, los cuales desestabilizan las partículas coloidales, precipitados y grupos de sólidos en suspensión, facilitando la formación de flóculos (Choque-Quispe *et al.*, 2021).

Uriarte (2019) menciona que, el proceso de coagulación debe mantener una dosis optima, a fin de generar la eficiencia esperada, caso contrario, una elevada dosis provocaría una inversión de la carga y no neutralizaría a las partículas, impidiendo de esta manera la formación de los flóculos.

2.2.2 FLOCULACIÓN

Consiste en la unión o agrupación de partículas que están dispersas en un medio líquido (Sandoval y Rubio, 2016), en donde se realiza el movimiento de la masa coagulada, permitiendo la formación de los flóculos (Montesdeoca y Mendoza, 2018).

Díaz (2018) en su investigación “Remoción de turbidez de aguas superficiales mediante floculación” señala que el proceso de floculación permite disminuir la turbidez con gran eficiencia, el tiempo de remoción de turbidez de los floculantes es más prolongado y es eficiente en velocidad lenta y velocidad rápida de agitación, la eficiencia y remoción de turbidez es distinta tanto en los cactus como en los almidones. Además, menciona que, el uso de polielectrolitos en unión con coagulantes metálicos presenta el beneficio de la formación de floc en menos tiempo.

2.2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN

López (2018) en su trabajo “Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas” indica que es imprescindible tener en cuenta factores que puedan influir en el proceso de

coagulación-floculación con la finalidad de optimizar y garantizar buenos resultados. Además, menciona que estos factores se interrelacionan entre ellos, permitiéndoles conocer cuál es la cantidad de coagulante que se debe agregar.

2.2.3.1 pH

Es de importancia, ya que el efecto en el proceso de coagulación, afecta a la solubilidad de los coagulantes, formación de los flóculos (tiempo) y la carga de las partículas coloides (Vielman, 2019).

2.2.3.2 TEMPERATURA

La temperatura en el agua afecta a la densidad, un aumento de temperatura altera la energía cinética de los cuerpos en suspensión provocando una coagulación más lenta, mientras que, a bajas temperaturas la viscosidad del agua asciende dificultando la sedimentación de los flocs (Fúquene y Yate, 2018).

2.2.3.3 DOSIS DEL COAGULANTE

Según López (2018) la variación de este factor se debe a la influencia de las concentraciones de la turbidez en función a la dosificación del coagulante (Imagen 2.1):

- **Zona 1:** La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce la coagulación.
- **Zona 2:** Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.
- **Zona 3:** Si se continúa incrementando la dosis, se pueden re-estabilizar los coloides con ciertos valores de pH.
- **Zona 4:** Al aumentar la dosis, hasta producir una sobresaturación se produce precipitación rápida de los coagulantes ocasionando un efecto de barrido.



Imagen 2.1. Zonas de Coagulación

Fuente: López (2018).

2.2.3.4 INFLUENCIA DE LA MEZCLA (AGITACIÓN VS COAGULANTE)

López (2018) indica que, la velocidad de agitación, el tiempo de mezcla, la aplicación del coagulante, el punto de aplicación y el tipo de dispositivo de mezcla son algunos de los factores físicos que influyen directamente en el proceso de coagulación. La eficiencia del proceso de coagulación está relacionada a la velocidad la agitación, ya que este factor asegura que la mezcla sea uniforme (Neciosup *et al.*, 2019; Fúquene y Yate, 2018; Veliz *et al.*, 2016).

2.3 NOPAL (*Opuntia ficus-indica*)

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) se encuentra dentro de los 125 géneros y 2000 especies de esta familia *Cactaceae*, originaria de zonas áridas, tropicales, subtropicales, semisecas y templadas del continente Americano (Cevallos, 2016). Gracias a su potenciales características en la actualidad ha despertado interés en diversos países de Latinoamérica, donde presenta una alta adaptabilidad a sus condiciones climáticas Loyo (2018).

Tabla 2.1. Taxonomía Nopal

Reino	Vegetal
Sub Reino	Embryophita
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledonea
Sub Clase	Dialipetalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Sub Familia	Opuntioideae
Género	Opuntia
Especie	ficus-indica

Fuente: Achachi (2018)

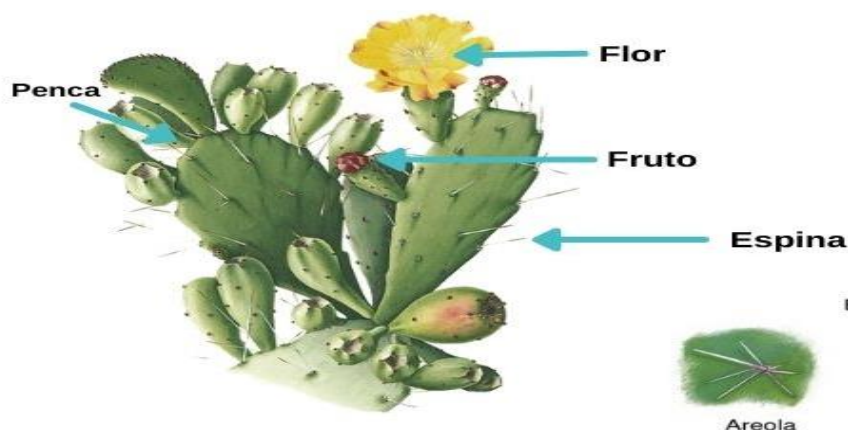


Imagen 2.2. Partes Nopal (*Opuntia ficus-indica*)

- **Cladodio:** Los cladodios (pencas), son tallos u hojas arbustivas de la planta de nopal (Cando y Gallardo, 2020; Achachi Guangaci, 2018).

Razuri (2017) en su trabajo “Disminución del contenido de la DBO₅ y la DQO mediante coagulantes naturales (*Aloe vera L.* y *Opuntia ficus indica*) en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta–San Martín de Porres”, determinó que la utilización de coagulantes naturales disminuye el contenido de la DBO₅ y la DQO. La aplicación de los tratamientos utilizados en su investigación evidenció una mayor eficiencia en la disminución de la DBO₅ y la DQO al combinar el *Aloe vera L.* y *Opuntia ficus indica* con una concentración de 800 mg/L reduciendo hasta un 90,11%.

González *et al.* (2020) en su investigación “Eficiencia de *Opuntia ficus indica* (cruda y desecada) como coagulante para la clarificación de aguas” comparó la eficiencia de la especie *Opuntia ficus indica* cruda y desecada, en agua sintética. Obteniendo resultados de 87,21% (desecado) y 53,63% (cruda) de eficiencia, lo cual le permitió concluir que *Opuntia ficus indica* es un coagulante eficiente para la disminución de turbidez en el agua.

Olivero *et al.* (2017) en su publicación “Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* en clarificación de aguas” evaluaron el desempeño de cuatro tratamientos (*Opuntia ficus*, *Moringa oleífera* y la mezcla de ambos con sulfato de aluminio) en la disminución de los SST y SDT en el agua del río Magdalena. En donde obtuvieron como resultado que el *Opuntia ficus* tiene un 90% de eficiencia, mientras que, en mezcla con el sulfato de aluminio obtuvo un 99% de disminución de la turbidez en el agua, logrando así concluir que el *Opuntia ficus* es uno de los mejores coagulantes naturales en la clarificación de aguas.

2.4 CALIDAD DEL AGUA

Con el pasar del tiempo se ha vuelto un tema de preocupación para gobiernos, sectores privados, universidades y comunidades del mundo, debido a la contaminación que está sometida este recurso vital para el desarrollo de la vida (López, 2019). En la actualidad considerable cantidades de dinero y tiempo se ha invertido para buscar métodos que permitan controlar, proteger, administrar y restaurar los recursos hídricos, reconociendo a esto como un objeto de estudio de relevancia y de importancia para la calidad del medio ambiente, el desarrollo económico y el bienestar de la población (Sánchez-Gutiérrez y Gómez-Castro, 2021).

Pazmiño-Rodríguez *et al.* (2018) menciona que, en los últimos años la calidad y cantidad de agua han disminuido significativamente, debido a que los cuerpos hídricos se han convertido en receptores de residuos y efluentes domésticos, que aumentan la carga orgánica, la cual compromete la calidad del agua como ecosistema (disminuyendo su capacidad de autodepuración) y como fuente de abastecimiento de agua para sistemas de potabilización.

Las fuentes de abastecimiento de agua para potabilización pueden ser superficiales (ríos, lagos, humedales, estuarios, entre otros) y subterráneas (manantiales, pozo, entre otros), sin embargo, cualquier fuente de abastecimiento que se tome debe cumplir con índices de calidad y normas (Carreño-Mendoza *et al.*, 2019).

En el estudio “Remoción de turbidez usando semillas de *Tamarindus indica* como coagulante en la potabilización de aguas” realizado por Carrasquero *et al.* (2019) menciona que, para cumplir con lo mencionado el agua debe pasar por un proceso, para obtener una calidad satisfactoria y apta para el consumo humano, ya que los cuerpos hídricos que sirven como fuentes de abastecimiento contienen impurezas. Además, estos autores indican que, el agua potable, debe mantener una excelente calidad, es decir, debe estar exenta de turbidez, libre de microorganismos patógenos, color, olor y sabor, entre otros parámetros que se encuentran regidos dentro las normas locales.

2.4.1 TURBIDEZ DEL AGUA

La turbidez es la opacidad que presenta un cuerpo de agua por las partículas o materia insoluble que se encuentran en suspensión, el agua puede notarse turbia por el sedimento, carga de nutrientes, procesos erosivos y las dinámicas de la corriente que transporta, depositándolo naturalmente (normalmente en época lluviosa este parámetro mantiene valores altos) (Del Valle, 2017).

Las partículas suspendidas en un cuerpo hídrico absorben el calor de la luz del sol, provocando que la temperatura tenga cambios bruscos (26 °C – 33°C), lo cual afecta a las funciones de este parámetro (mayor temperatura menor oxígeno y a menor temperatura mayor cantidad de oxígeno), el cual es necesario el desarrollo de la vida acuática, además, existen variables que intervienen en la turbidez, entre estos se destacan (Bermúdez-Vera *et al.*, 2020; Macías, 2015):

- Crecimiento de las algas.
- Descarga de efluentes.
- Escorrentía urbana.
- Fitoplancton.
- Sedimentos procedentes de la erosión.

- Sedimentos suspendidos del fondo (frecuentemente revueltos por peces que se alimentan por el fondo, como la carpa).

Sánchez y Quintero (2020) mencionan que, la turbidez es un parámetro importante a tener en cuenta a la hora de analizar la calidad del agua, debido a que elevados niveles de turbidez dan cabida a microorganismos, lo cual podría producir problemas en la salud.

2.5 SEDIMENTACIÓN DEL AGUA

La sedimentación del agua es ocasionada por las actividades antropogénicas y naturales, las cuales ocasionan la erosión por acción de las corrientes de agua. El proceso de sedimentación empieza desde las partes altas de los sistemas hidrográficos con el transporte de las partículas más grandes por acción del agua, durante el transporte su tamaño se reduce (sólidos suspendidos), para luego terminar en el fondo de los cuerpos de agua como sólidos disueltos (Ballesteros y Ñacato, 2020). Pajuelo (2018) que la velocidad de sedimentación en la clarificación de aguas, dependerá del tipo de coagulante que se utilice y de su efectividad.

2.5.1 FORMAS DE SEDIMENTACIÓN

Según Del Valle (2017) existen dos formas de sedimentación, las cuales son detalladas a continuación:

- **Sedimentación simple:** es considerado un tratamiento primario (pre sedimentación) reduciendo la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación.
- **Sedimentación después de coagulación y floculación:** se emplea para la remoción de los sólidos con la ayuda de productos químicos que permiten la coagulación y floculación, logrando que las partículas alcancen un mayor tamaño y descendan por efecto de la gravedad.

2.5.2 TIPOS DE SEDIMENTACIÓN

Sedimentación de Tipo 1 o de Partículas Discretas: Según Orduz y Portilla, (2017) este tipo de sedimentación existe cuando hay bajas concentraciones de

sólidos, en donde las partículas no interaccionan entre ellas. Paco (2014) indica que las partículas discretas son aquellas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante el proceso de sedimentación.

Sedimentación de Tipo 2 o Floculenta: Gómez y Manrique (2016) señalan que cuando hay una baja concentración de sólidos en suspensión en el agua, partículas interaccionan entre ellas formando flóculos.

Sedimentación de Tipo 3 o Retardada o Zonal: este tipo de sedimentación se refiere a concentraciones intermedias de sólidos, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas vecinas (Mejía, 2017). Las interacciones entre las partículas provocan una disminución de la velocidad de sedimentación, además, se caracteriza por tener una capa límite bien definida entre la masa sedimentable y el líquido sobrenadante (Del Valle, 2017).

Sedimentación de Tipo 4 o de Compresión: la sedimentación por compresión suele ocurrir en el fondo del decantador durante el proceso de lodos activados, en donde la concentración de sólidos crea una estructura y la única forma de avanzar en la sedimentación es comprimiendo el peso de las partículas recién depositadas sobre las ya existentes (Del Valle, 2017).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

La presente investigación se desarrolló en el río Carrizal, en la parroquia Ángel Pedro Giler, perteneciente al cantón Tosagua. El río nace en las montañas del Cantón Bolívar, su cauce va desde el sureste al noroeste influenciado por las aguas de los ríos Canuto y Chone, este río desemboca en el cantón Sucre (Andrade y Ponce, 2016). La parroquia Ángel Pedro Giler se encuentra situada a 5 km de la cabecera cantonal (Tosagua) (Macias y Zambrano, 2020), con un clima tropical seco manteniendo una temperatura media de 26,3°C, precipitación de 527,90 mm, humedad relativa de 82,1% y heliofanía de 1392,30 horas luz (Bermúdez-Vera *et al.*, 2020).

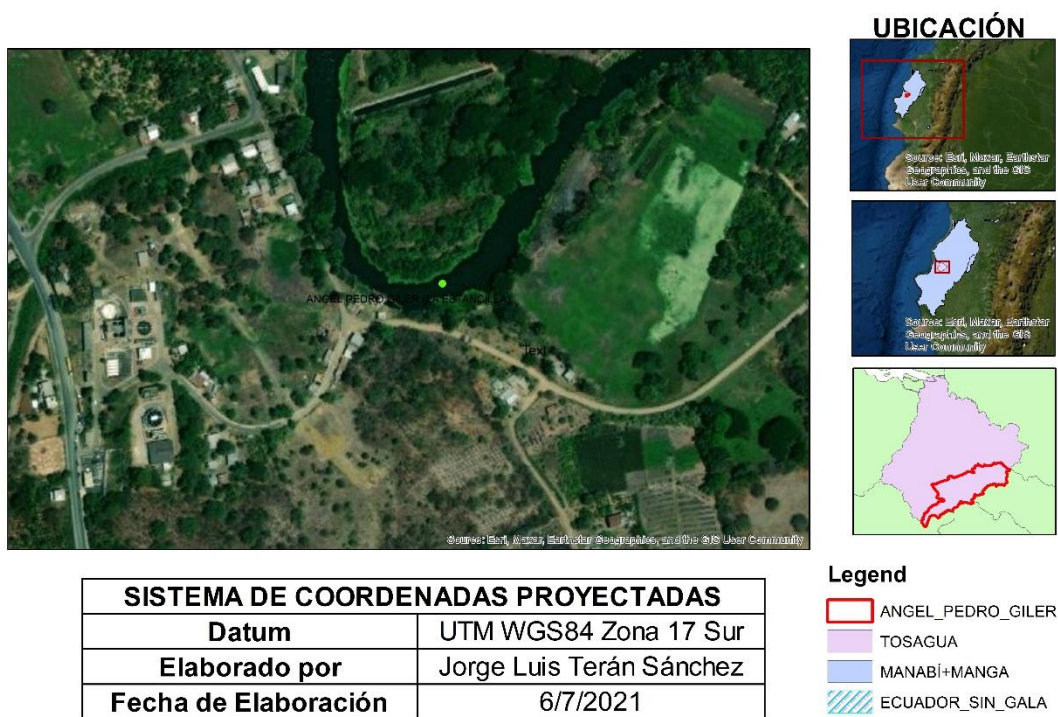


Imagen 3.1. Ubicación zona de estudio

Fuente: Google Earth (2019).

3.2 DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de 9 meses, desde el mes de agosto del 2021 hasta abril del 2022.

3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 MÉTODOS

- **MÉTODO DEDUCTIVO**

El método que se utilizó es el deductivo, mediante el cual se observaron los factores a estudiar comprobando la eficiencia que estos pudieran tener. En el presente estudio, permitió observar la eficiencia con respecto a remoción de turbidez en el agua del río Carrizal.

- **MÉTODO ESTADÍSTICO**

Este método permitió interpretar de manera ordenada los datos que se obtuvieron de turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) en las unidades experimentales, permitiendo el uso de técnicas y procedimientos para recolección, organización, análisis e interpretación de los datos. Por otra parte, mediante la estadística inferencial se pudo determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos e identificar el tratamiento con mejores indicadores, por medio del Análisis de Varianza (ANOVA) y la prueba múltiple de media Tukey.

- **MÉTODO ANALÍTICO**

Este método permitió analizar la información y resultados obtenidos en este estudio. Además, dentro de la investigación permitió determinar la turbidez inicial y al final de la prueba de jarras.

- **MÉTODO BIBLIOGRÁFICO**

El método bibliográfico permitió obtener fuentes de información, logrando conocer datos referenciales ligados a la temática de estudio. Dentro de esta investigación, dentro de este método se consideraron una serie de premisas, ideas y conceptos que ayudaron a sustentar los distintos argumentos y directrices.

3.3.2 TÉCNICAS

3.3.2.1 PRUEBA DE JARRAS

Se utilizó la prueba de jarras, dado que es una prueba de corta duración que permite observar el comportamiento de los coagulantes empleados (Fúquene y Yate, 2018) en la remoción de turbidez, con muestras de agua del río Carrizal.

3.4 UNIDADES EXPERIMENTALES

Se experimentó con muestras de agua tomadas del río Carrizal en época lluviosa, para un total de 18 tratamientos. Cada unidad experimental estuvo compuesta por un volumen de 500 ml. Cada tratamiento fue repetido 3 veces, llegando así a un total de 54 unidades experimentales.

3.5 VARIABLES A MEDIR

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Coagulante Natural a partir del mucílago del nopal.

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Turbidez en el agua del río Carrizal.

3.6 MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.6.1 FASE 1: OBTENCIÓN DE HARINA Y POLIELECTROLITO A PARTIR DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) PARA SU POSTERIOR USO COMO COAGULANTE NATURAL.

ACTIVIDAD 1: RECOLECCIÓN DEL CLADODIO DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*)

La recolección del cladodio de nopal se realizó en la ciudad de Ambato, en la provincia de Tungurahua. Según Loyo (2018) en Ecuador esta planta se encuentra cultivada en las zonas de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo. En

cuanto a la transportación, estos cladodios fueron colocados en una gaveta con tapa, cerrándola herméticamente.

ACTIVIDAD 2: OBTENCIÓN DE LA HARINA DEL MUCÍLAGO DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*)

Para llevar a cabo esta actividad se siguió la metodología aplicada por González *et al.* (2020), mismo que menciona que se debe tomar el tejido parenquimatoso y llevarlo a la estufa por 24 horas a un promedio de 60 a 65 °C. Transcurrido este tiempo se obtuvo un tejido deshidratado, el cual se llevó a un mortero para tritularlo y luego almacenarlo en un recipiente hermético. Finalmente, el desecado obtenido, se lo utilizó en una mezcla al 8% (m/v).

ACTIVIDAD 3: OBTENCIÓN DEL POLIELECTROLITO DEL MUCÍLAGO DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*)

Siguiendo la metodología de Puma (2020); Contreras *et al.* (2015) se extrajo el mucílago, para luego cortarlo en pedazos pequeños que fueron llevados a una licuadora doméstica, añadiendo agua destilada 1:2 (m/v). La mezcla obtenida fue llevada a una estufa a 50 °C durante 1 hora. Una vez finalizado el proceso en la estufa se centrifugó la mezcla a 3500 RPM durante 10 minutos. Culminado el proceso de centrifugación el sedimento fue desechado y al sobrenadante se le agregó etanol 1:4 (v/v), para luego dejarlo reposar durante 24 horas en refrigeración a 5 °C para precipitar el mucílago.

3.6.2 FASE 2: DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA EN LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO COAGULANTE NATURAL.

ACTIVIDAD 4: TOMA DE MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO CARRIZAL

Las muestras de aguas fueron tomadas en la parroquia Ángel Pedro Giler, río Carrizal cerca de la empresa EMMAP-EP. Estas muestras fueron tomadas según la metodología mencionada en la Norma INEN 2168:98, la cual indica que para turbidez se podrá conservar las muestras en recipientes plásticos por un tiempo máximo de 24 horas (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2015). Por

otra parte, en cuanto al muestreo, según la Norma INEN 2176:13, recomienda tomar muestras puntuales si el flujo del agua a muestrear no es uniforme, si los valores de los parámetros de interés no son constantes (INEN, 2013).

ACTIVIDAD 5: APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE JARRA

Según la metodología de Fúquene y Yate (2018) la prueba de jarra, debe manejarse dentro de los siguientes lineamientos:

- Para iniciar la prueba de jarras, se colocó una muestra (500 ml) de agua del río carrizal en vasos de precipitación (4) de 1000 ml, midiendo la turbidez y SST iniciales en cada uno.
- Programar la velocidad de agitación del equipo en ± 100 RPM aproximadamente por un minuto. Durante la agitación, se agregaron las diferentes dosis (tabla 3.1) correspondientes a cada tratamiento, al mismo tiempo.
- Se reguló la rotación de las paletas a 20, 40 y 60 RPM, a los 30 segundos de agitación, para luego dejar flocular durante 15 minutos.
- Una vez transcurrido los 15 minutos, se encendió la luz del equipo de jarras y se dejó reposar por al menos 5 minutos sin mezclar.
- Al finalizar el tiempo de reposo, se observó el volumen de lodo generado y se extrajo una muestra (20 ml) de agua clarificada mediante la ayuda de una pipeta de 20 ml, para luego realizar la medición de la turbidez y SST.

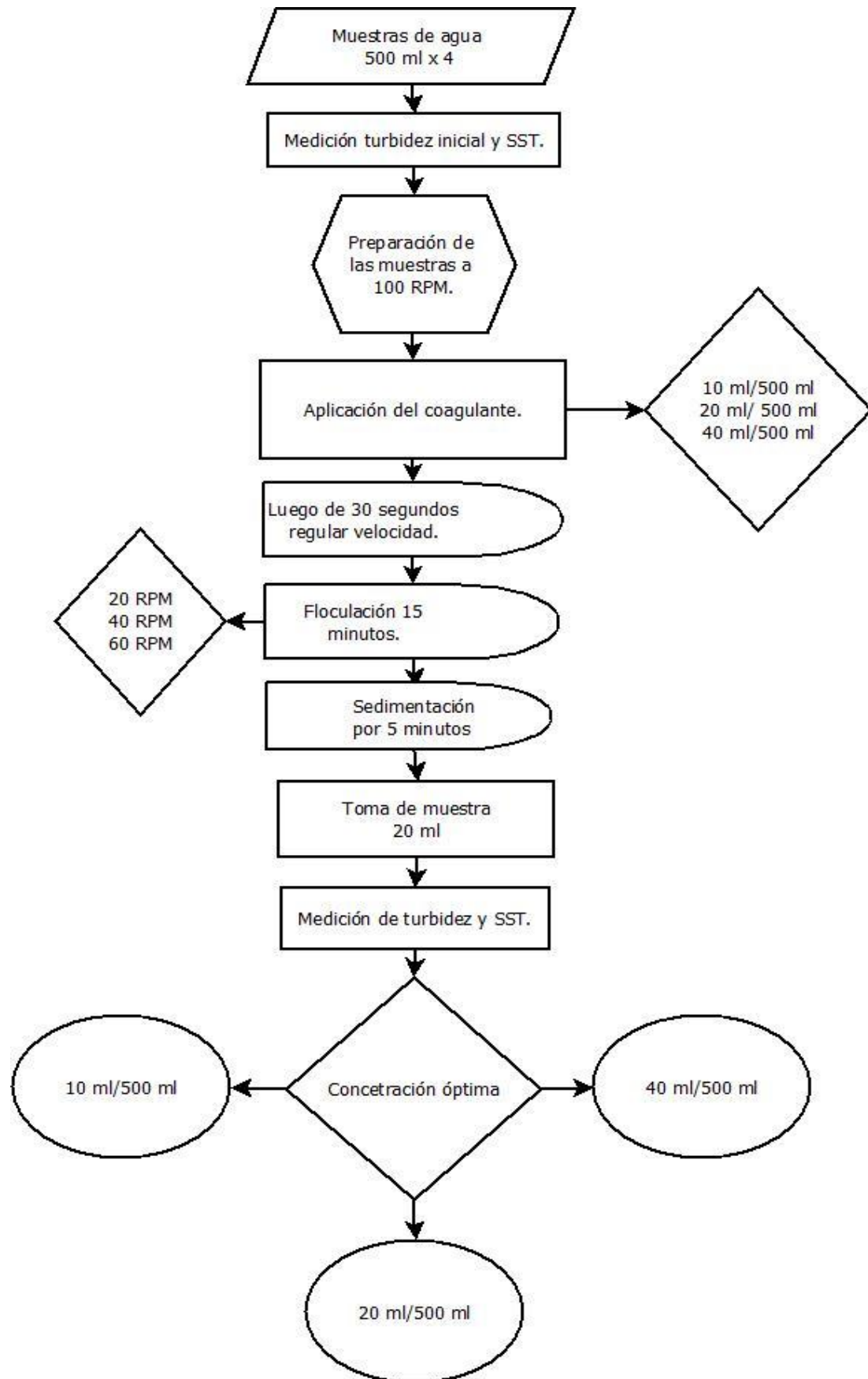


Imagen 3.2. Diagrama de flujo de prueba de jarras.

ACTIVIDAD 6: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS

Se aplicó la siguiente fórmula a los tratamientos y sus repeticiones, para conocer su eficiencia.

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} \times 100 \quad (\text{ECUACIÓN 3.1.})$$

ACTIVIDAD 7: DETERMINACIÓN DE DIFERENCIAS ESTADÍSTICAS SIGNIFICATIVAS EN LOS TRATAMIENTOS PROPUESTOS

Después de obtener los resultados de cada uno de los tratamientos y sus repeticiones, se tabularon los datos que se obtuvieron para procesarlos y determinar la significancia que existe entre el uso de la harina y el polielectrolito del mucílago del nopal en la disminución de la turbidez en el agua del río Carrizal. Además, se realizó el ANOVA de los datos de los factores y su interacción, constatando los supuestos del ANOVA, en donde se llevó a cabo la prueba de normalidad de datos mediante Kolmogórov-Smirnov y homogeneidad de varianzas – Test de Levene.

Análisis estadísticos:

- Análisis de varianza.
- Prueba de media, Tukey al 5% de probabilidad de error.

3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Esta investigación fue de carácter experimental y estuvo sujeta a un diseño completamente al azar (DCA) con tres factores de estudio. Utilizando unidades experimentales suficientemente homogéneas entre sí, es decir, que la variabilidad se manifiesta de forma similar en todas las unidades experimentales, de modo que el efecto que se da en el tratamiento de una variable de estudio, será el mismo efecto obtenido en cualquiera de las unidades experimentales (Endara y Zambrano, 2021), utilizando el sulfato de aluminio como testigo.

Tabla 3.1. Fuentes de variación del análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad
Factor A	1
Factor B	2
Factor C	2
AxB	2
AxC	2
BxC	4
AxBxC	4
Residual	8
Total	53

3.7.1 FACTORES DE ESTUDIO

Factor A: Dosis de Harina de nopal

- A1= Harina de Nopal.
- A2= Polielectrolito de Nopal.

Factor B: Dilución

- B1= 10 ml/500 ml.
- B2= 20 ml/500 ml.
- B3= 40 ml/500 ml.

Factor C: RPM

- C1= 20 RPM.
- C2= 40 RPM.
- C3= 60 RPM.

Tabla 3.2. Composición Tratamientos.

TRATAMIENTOS	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN TRATAMIENTO		
		COAGULANTE	DILUCIÓN	RPM
T1	A1B1C1	Harina Mucílago Nopal	10 ml/500 ml	20
T2	A1B2C1	Harina Mucílago Nopal	20 ml/500 ml	20
T3	A1B3C1	Harina Mucílago Nopal	40 ml/500 ml	20
T4	A1B1C2	Harina Mucílago Nopal	10 ml/500 ml	40
T5	A1B2C2	Harina Mucílago Nopal	20 ml/500 ml	40
T6	A1B3C2	Harina Mucílago Nopal	40 ml/500 ml	40
T7	A1B1C3	Harina Mucílago Nopal	10 ml/500 ml	60
T8	A1B2C3	Harina Mucílago Nopal	20 ml/500 ml	60
T9	A1B3C3	Harina Mucílago Nopal	40 ml/500 ml	60
T10	A2B1C1	Polielectrolito de Mucílago de Nopal	10 ml/500 ml	20
T11	A2B2C1	Polielectrolito de Mucílago de Nopal	20 ml/500 ml	20
T12	A2B3C1	Polielectrolito de Mucílago de Nopal	40 ml/500 ml	20
T13	A2B1C2	Polielectrolito de Mucílago de Nopal	10 ml/500 ml	40
T14	A2B2C2	Polielectrolito de Mucílago de Nopal	20 ml/500 ml	40
T15	A2B3C2	Polielectrolito de Mucílago de Nopal	40 ml/500 ml	40
T16	A2B1C3	Polielectrolito de Mucílago de Nopal	10 ml/500 ml	60
T17	A2B2C3	Polielectrolito de Mucílago de Nopal	20 ml/500 ml	60
T18	A2B3C3	Polielectrolito de Mucílago de Nopal	40 ml/500 ml	60

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

En el presente estudio se utilizó estadística descriptiva, misma que mediante la recolección, tabulación y análisis de datos, permitió determinar la diferencia estadística entre los tratamientos. Por otra parte, la utilización de la estadística inferencial permitió la realización de los análisis estadísticos ANOVA y la prueba múltiple de media Tukey (5%), con el fin de identificar los tratamientos con mejores indicadores en las variables analizadas.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 OBTENCIÓN DE HARINA Y POLIELECTROLITO A PARTIR DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) PARA SU POSTERIOR USO COMO COAGULANTE NATURAL.

Para la obtención de la harina, se extrajo el mucílago de los cladodios para posteriormente deshidratarlos (Imagen 4.1). En este proceso de deshidratación el resultado de humedad obtenido fue del 91%, (Pérez, 2021), quien en su trabajo de investigación menciona que los cladodios del nopal llegan a perder de un 80 a 90% de peso. Ya que el nopal está constituido mayormente por agua según lo menciona (Magro y Pérez, 2017).

Por otra parte, en cuanto a la obtención del polielectrolito se obtuvo 1000 ml, partiendo de una masa inicial de 500 g de mucílago. La cual fue triturada con agua destilada en una licuadora doméstica, para luego colocarla en la estufa por 1 h, a 50 °C. Posteriormente, la mezcla fue centrifugada a 3500 RPM por 10 minutos, transcurrido este tiempo se separó el sobrenadante, que luego fue utilizado para la mezcla con etanol en una relación de 1:4(v:v). Mezcla que fue colocada en refrigeración por 24 h, para su posterior uso.

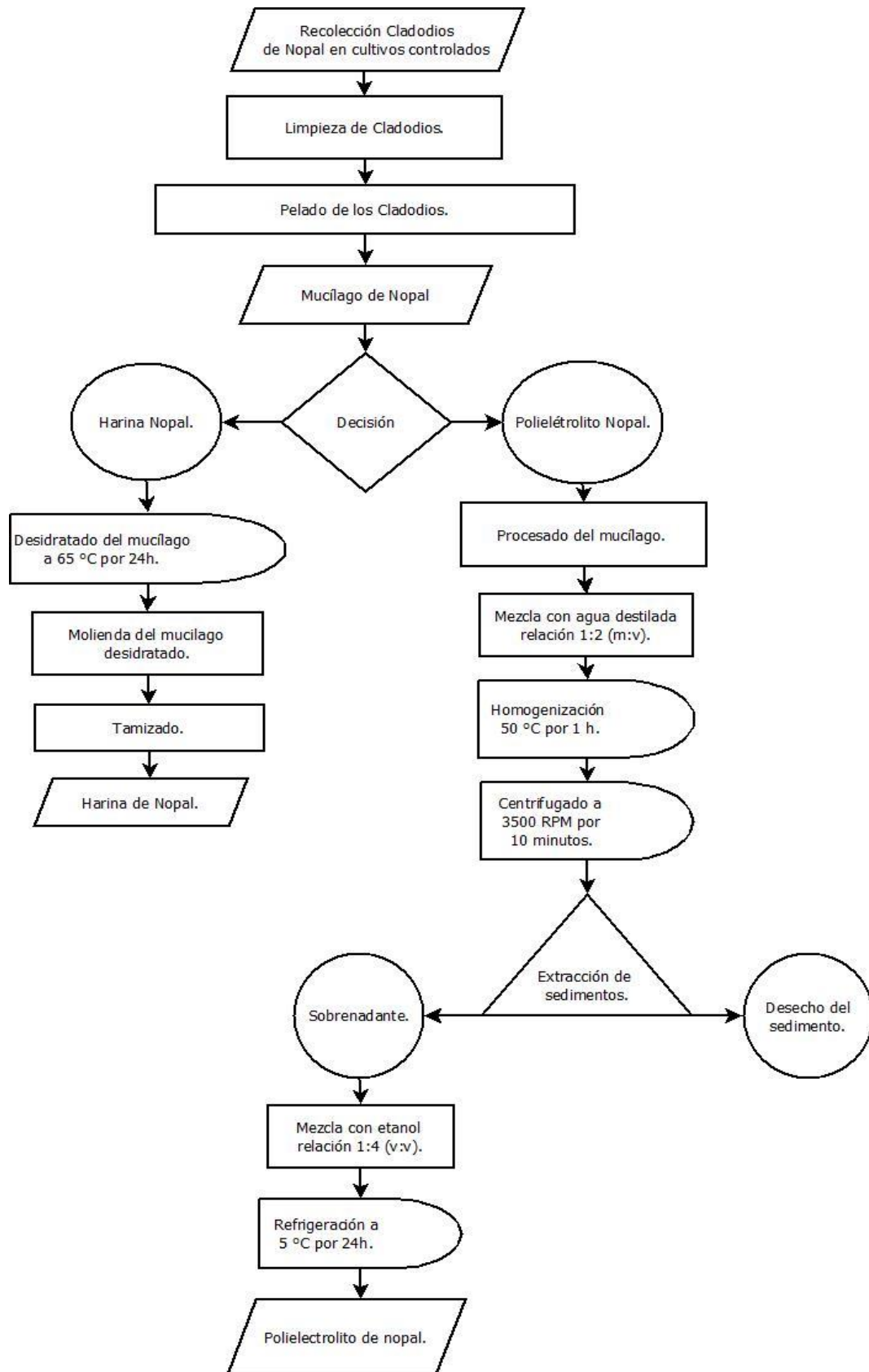
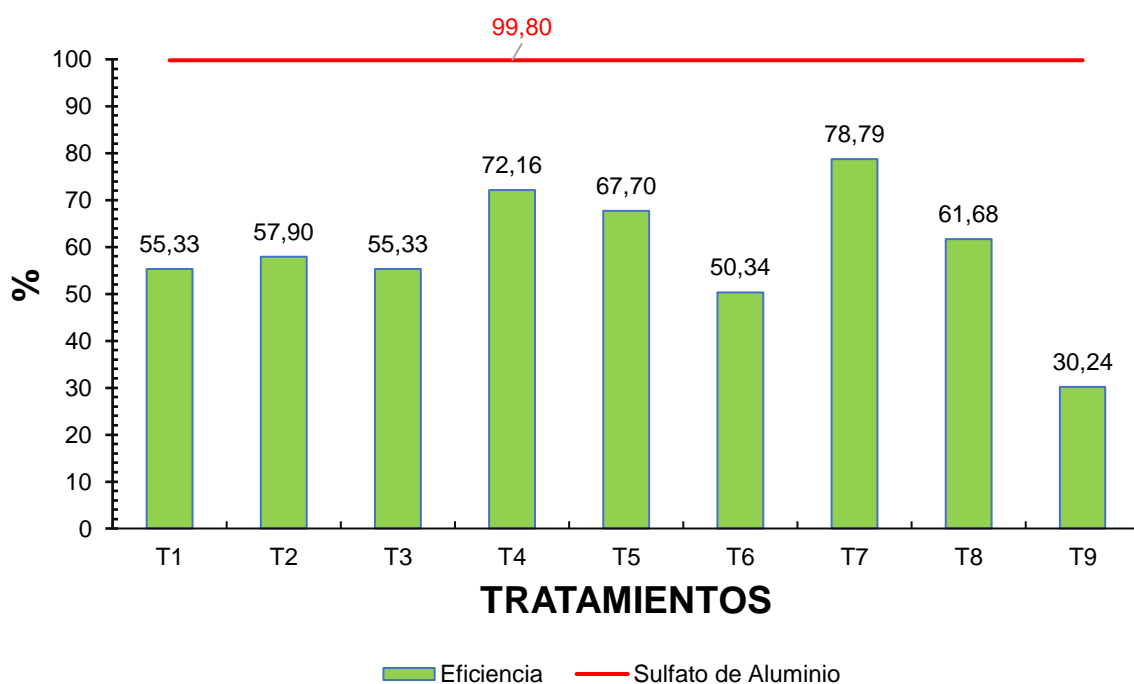


Imagen 4.1. Diagrama de Flujo Harina y Polielectrolito de Nopal.

4.2 DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA EN LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ USANDO COAGULANTE NATURAL.

El nivel de turbidez en la muestra de agua tomada del cauce del río Carrizal fue de 194 NTU. Mientras que, el valor inicial de SST fue de 572,13 mg/L. Los valores de SST fueron obtenidos por medio de la utilización de la ecuación de la recta (Anexo 3.1). Posteriormente, para establecer la eficiencia del coagulante, se realizaron las pruebas de jarras, durante la ejecución, se logró observar que, el tipo de sedimentación presentado fue el floculante, tanto en la harina como en el polielectrolito de mucílago de nopal, los flóculos fueron apreciables a simple vista (Anexo 1.15 – 1.18).

Según Gómez y Manrique (2016) la sedimentación floculante es la que a baja concentración de sólidos en suspensión, permite que las partículas interaccionen entre ellas formando flóculos (grupos de partículas adheridas entre sí), que al final por su peso terminan en el fondo.



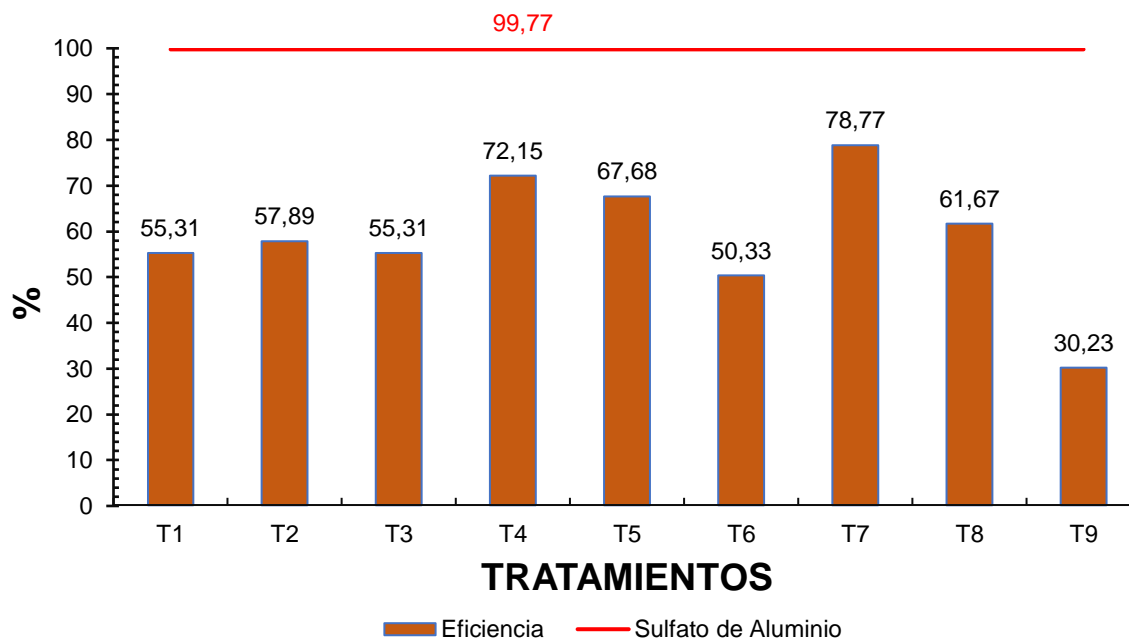


Gráfico 4.2. Remoción de SST a partir de harina de nopal.

El comportamiento de la turbidez de acuerdo a los tratamientos planteados con la solución de harina de nopal, presentó su mejor eficiencia en el tratamiento T₇ (10 ml y 60 RPM), la cual fue de 78,79%. Por otra parte, su menor valor obtenido en el tratamiento T₉ (40 ml y 60 RPM), fue de 30,24%, tal como se muestra en el gráfico 4.1, en donde se observa, que el tratamiento (T₇) con menor dosis (10 ml) y mayor agitación (60 RPM) tiene mayor eficiencia en la remoción de turbidez. Sin embargo, todos los tratamientos se encuentran por debajo del valor de remoción obtenido de con sulfato de aluminio (99,8%).

De acuerdo al gráfico 4.2, el comportamiento de los tratamientos en cuanto a la remoción de los SST, el tratamiento T₇ (10 ml y 60 RPM) presentó un 78,77%, mientras que, el menor valor obtenido de 30,23% el fue con el tratamiento T₉ (40 ml y 60 RPM). Por otra parte, el testigo utilizado dentro de la investigación presenta una eficiencia de 99,77%.

Estos valores se asemejan a los encontrados por Nieto (2021), en su trabajo en donde obtiene una eficiencia de 41,65% y 86,54% de remoción de turbidez en la aplicación de la harina de nopal, en estado sólido. Silva (2017), en su investigación obtuvo un

78,7% y 88,9% de remoción, en aguas con valores de turbidez hasta con 500 NTU, aplicando el coagulante con una velocidad de entre 30 y 100 rpm.

Acevedo y Huaman (2021) obtuvieron un 99,33% de remoción para niveles de turbidez en un rango de 1561 a 1568 NTU. Asimismo, Lozano (2018) logró obtener una eficiencia del 82% con una turbidez inicial de 55 NTU. López (2018) quien también obtuvo un 82% de eficiencia en la remoción de la turbidez, González *et al.* (2020); López (2018) indican que, a diferentes condiciones de turbidez inicial, el coagulante de mucílago de nopal presenta diferencias en la remoción de la turbidez.

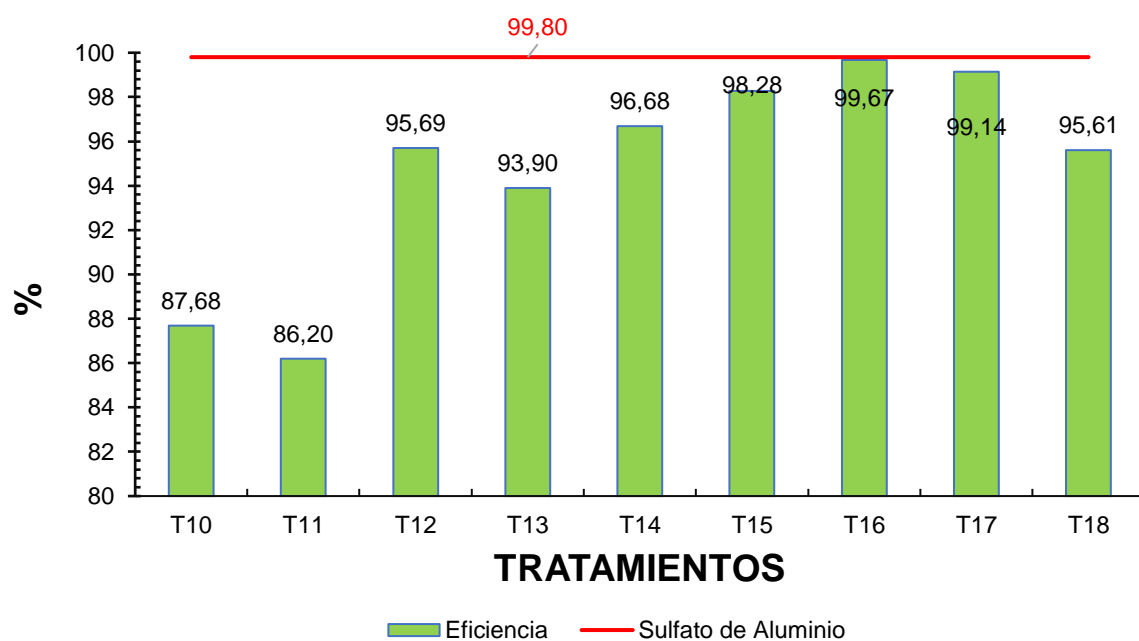


Gráfico 4.3. Remoción de la turbidez a partir de polielectrolito de nopal.

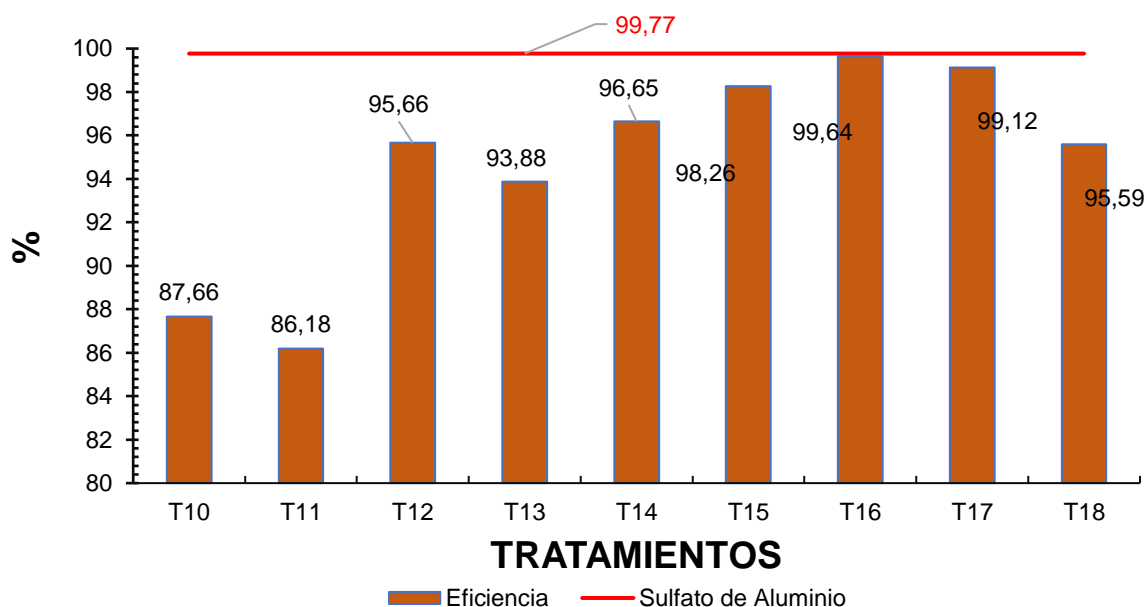


Gráfico 4.4. Remoción de SST a partir de polielectrolito de nopal.

En el Gráfico 4.3, se muestra el comportamiento de los tratamientos en donde se aplicó polielectrolito de nopal, con dosificaciones de 10, 20 y 40 ml y velocidades de 20, 40 y 60 rpm. La eficiencia del polielectrolito reportó un 86,2% en el T₁₁ (20 ml y 20 RPM) y 99,67% en el T₁₆ (10 ml y 60 RPM). En lo cual se puede observar, que la turbidez tiende a disminuir con mayor eficiencia al incrementar la velocidad de agitación.

Se observa en el gráfico 4.4, que la mayor eficiencia de SST reportada en los tratamientos fue el T₁₆ (99,64%) el cual estuvo compuesto en su aplicación, con 10 ml de polielectrolito a 60 RPM. El tratamiento que presentó la menor eficiencia fue el T₁₁ el cual reportó un 86,18%.

Contreras *et al.*, (2015) obtuvo valores que se aproximan a los obtenidos en esta investigación, en donde su eficiencia de remoción de turbidez fue del 96,98%. Olivero *et al.* (2017) en su trabajo obtuvo un 90% de eficiencia en la aplicación del *Opuntia ficus-indica*, con una turbidez inicial de 462 NTU, en muestras del río Magdalena. Santisteban (2020) indica que, se puede obtener valores altos en la remoción de la turbidez, si la velocidad de agitación es mayor a 100 rpm, ya que, a velocidades bajas, el coagulante no realiza una correcta dispersión y estiramiento del polímero eficientemente, para comenzar con la coagulación.

Tabla 4.1. Resultados Testigo Prueba de Jarras.

Turbidez inicial	Turbidez final Testigo	% Eficiencia testigo	SST Inicial	SST Final Testigo	%Eficiencia Testigo
194	0,39	99,80%	572,13	1,28	99,77%

En la tabla 4.1 se puede observar los resultados de eficiencia de la aplicación de sulfato de aluminio como testigo dentro de la investigación, en donde obtuvo un 98,8% de eficiencia en la remoción de turbidez y un 99,75 en la remoción de los SST del agua del río Carrizal.

Tabla 4.2. Resultados Prueba de Jarras (Harina Nopal).

Turbidez inicial (NTU)	TRATAMIENTO	TURBIDEZ FINAL (NTU)	% Eficiencia Repetición	% Eficiencia Tratamiento	SST Inicial (mg/L)	SST (mg/L)	% Eficiencia Repetición	% Eficiencia Tratamiento
194	T1R1	87	55,15		572,13	256,65	55,14	
	T1R2	86	55,67	55,33		253,70	55,66	55,31
	T1R3	87	55,15			256,65	55,14	
	T2R1	84	56,70			247,80	56,69	
	T2R2	80	58,76	57,90		236,01	58,75	57,89
	T2R3	81	58,25			238,96	58,23	
	T3R1	89	54,12			262,55	54,11	
	T3R2	87	55,15	55,33		256,65	55,14	55,31
	T3R3	84	56,70			247,80	56,69	
	T4R1	51	73,71			150,51	73,69	
	T4R2	54	72,16	72,16		159,35	72,15	72,15
	T4R3	57	70,62			168,20	70,60	
	T5R1	65	66,49			191,78	66,48	
	T5R2	62	68,04	67,70		182,94	68,03	67,68
	T5R3	61	68,56			179,99	68,54	
	T6R1	92	52,58			271,39	52,56	
	T6R2	102	47,42	50,34		300,88	47,41	50,33
	T6R3	95	51,03			280,24	51,02	
	T7R1	37,52	80,66			110,76	80,64	
	T7R2	45,29	76,65	78,79		133,67	76,64	78,77
	T7R3	40,63	79,06			119,93	79,04	
	T8R1	74	61,86			218,32	61,84	
	T8R2	83	57,22	61,68		244,86	57,20	61,67
	T8R3	66	65,98			194,73	65,96	
	T9R1	123	36,60			362,79	36,59	
	T9R2	151	22,16	30,24		445,35	22,16	30,23
	T9R3	132	31,96			389,33	31,95	

Tabla 4.3. Resultados Prueba de Jarras (Polielectrolito Nopal).

Turbidez inicial (NTU)	TRATAMIENTO	TURBIDEZ FINAL (NTU)	% Eficiencia Repetición	% Eficiencia Tratamiento	SST Inicial (mg/L)	SST (mg/L)	% Eficiencia Repetición	% Eficiencia Tratamiento
194	T10R1	25,82	86,69%	87,68%	572,13	76,26	86,67	87,66
	T10R2	23,75	87,76%					
	T10R3	22,15	88,58%					
	T11R1	26,57	86,30%	86,20%		78,47	86,28	86,18
	T11R2	27,87	85,63%					
	T11R3	25,89	86,65%					
	T12R1	7,49	96,14%	95,69%		22,22	96,12	95,66
	T12R2	9,47	95,12%					
	T12R3	8,15	95,80%					
	T13R1	12,98	93,31%	93,90%		38,40	93,29	93,88
	T13R2	11,5	94,07%					
	T13R3	11	94,33%					
	T14R1	6,92	96,43%	96,68%		20,54	96,41	96,65
	T14R2	5,72	97,05%					
	T14R3	6,7	96,55%					
	T15R1	3,34	98,28%	98,28%		9,98	98,26	98,26
	T15R2	3,08	98,41%					
	T15R3	3,58	98,15%					
	T16R1	0,63	99,68%	99,67%		1,99	99,65	99,64
	T16R2	0,64	99,67%					
	T16R3	0,67	99,65%					
	T17R1	1,21	99,38%	99,14%		3,70	99,35	99,12
	T17R2	2,2	98,87%					
	T17R3	1,57	99,19%					
T17R1	9,51	95,10%	95,61%	28,17	95,08	95,59		
T18R2	8,98	95,37%						
T18R3	7,07	96,36%						

En la tabla 4.2 y 4.3, se presenta los valores obtenidos de cada tratamiento con sus réplicas de la medición de la turbidez y SST a finalizar la prueba de jarras, además, se observa el cálculo de la eficiencia en cada repetición y promedio de remoción por tratamiento en cada parámetro medido.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

4.3.1 TURBIDEZ

En cuanto a los supuestos de ANOVA se aplicó la prueba de normalidad de datos mediante Kolmogórov-Smirnov en donde el factor coagulante presenta un valor $p > 0,05$, el factor RPM un valor $p < 0,05$ y el factor dosis un valor $p > 0,05$ (anexo 2.1). Es decir, que los valores cumplen una distribución normal para los factores de coagulante y dosis, mientras que para la velocidad de agitación no se cumple una distribución normal de los datos.

Por otra parte, en cuanto a la aplicación de la prueba de homogeneidad de varianzas – Test de Levene, el valor $p < 0,05$ en el factor coagulante, en el factor dosis el valor $p < 0,05$ y en el factor RPM el valor $p > 0,05$. Es decir, los valores obtenidos presentan homogeneidad solo en el factor RPM.

Tabla 4.4. ANOVA % Remoción Turbidez.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	22717,267 ^a	17	1336,310	257,360	,000
Interceptación	318463,489	1	318463,489	61332,969	,000
Coagulante	17428,026	1	17428,026	3356,468	,000
Dosis	1016,854	2	508,427	97,918	,000
RPM	433,685	2	216,842	41,762	,000
Coagulante * Dosis	1676,345	2	838,173	161,424	,000
Coagulante * RPM	191,386	2	95,693	18,430	,000
Dosis * RPM	1468,263	4	367,066	70,693	,000
Coagulante * Dosis * RPM	502,708	4	125,677	24,204	,000
Error	186,925	36	5,192		
Total	341367,681	54			
Total corregido	22904,192	53			

Los resultados obtenidos referente al ANOVA, muestran que el nivel de significancia es $p < 0,05$, en todas las interacciones que se producen entre factores dentro de la investigación (Tabla 4.4). Lo cual indica que, existen diferencias significativas.

Tabla 4.5. Prueba Tukey Dosis: Subconjunto homogéneos (Turbidez).

Dosis	N	Subconjunto		
		1	2	3
40 ml	18	70,9139		
20 ml	18		78,2172	
10 ml	18			81,2539
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 4.6. Prueba Tukey Dosis: Comparaciones múltiples (Turbidez).

(I) Dosis		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
10 ml	20 ml	3,0367*	,75956	,001
	40 ml	10,3400*	,75956	,000
20 ml	10 ml	-3,0367*	,75956	,001
	40 ml	7,3033*	,75956	,000
40 ml	10 ml	-10,3400*	,75956	,000
	20 ml	-7,3033*	,75956	,000

Se observa en la tabla 4.5, que la dosis de 10 ml se presenta como la mejor dosis de aplicación (Prueba Tukey: Subconjunto homogéneos) dentro de la investigación. En cuanto a la comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$) se observa en la tabla 4.6 que las dosis de 10, 20 y 40 ml presentan significancia.

Tabla 4.7. Prueba Tukey RPM: Subconjunto homogéneos (Turbidez).

RPM	N	Subconjunto		
		1	2	3
20 RPM	18	73,0178		
40 RPM	18		77,5233	
60 RPM	18			79,8439
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 4.8. Prueba Tukey RPM: Comparaciones múltiples (Turbidez).

(I) RPM		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
20 RPM	40 RPM	-6,8261*	,75956	,000
	60 RPM	-4,5056*	,75956	,000
40 RPM	20 RPM	6,8261*	,75956	,000
	60 RPM	2,3206*	,75956	,011
60 RPM	20 RPM	4,5056*	,75956	,000
	40 RPM	-2,3206*	,75956	,011

Tal como se presenta en la tabla 4.7, la velocidad de agitación 60 RPM presenta mayor efecto en la remoción de turbidez que las velocidades de 20 y 40 RPM. En la tabla 4.8, se aprecia que existe significancia ($p < 0,05$) entre las diferentes velocidades de agitación utilizadas en la investigación.

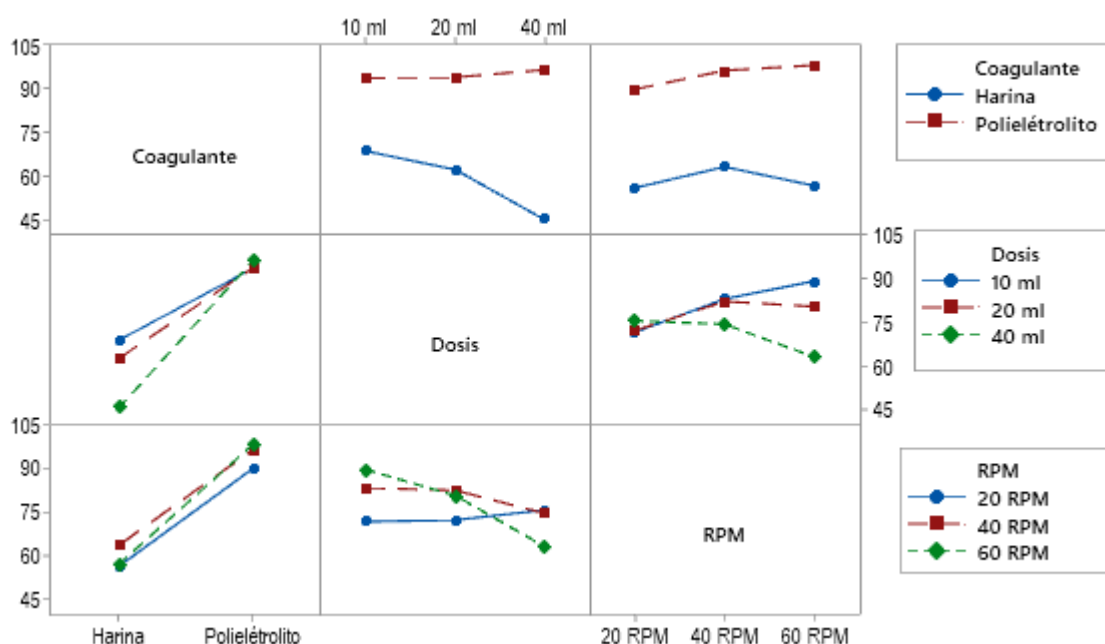


Gráfico 4.5. Interacciones de factores en la remoción de la turbidez

Como se observa en el gráfico 4.5, la mayor eficiencia de remoción de turbidez se presenta cuando se aplica polielectrolito. Por otra parte, en las interacciones se puede observar que el uso de la harina y el polielectrolito presenta mejores resultados en la remoción de turbidez con una dosis de 10 ml con las tres velocidades de agitación (20, 40 y 60 RPM). La aplicación de la harina de nopal con una dosis de 40 ml y 20 RPM puede igualar a los valores presentados por el polielectrolito con una dosis de

40 ml y 40 RPM. En cuanto a las diferentes velocidades de agitación dentro del estudio, se aprecia que, con la velocidad de agitación de 60 RPM, aplicando polielectrolito con una dosis de 10 ml se puede obtener una mayor remoción de turbidez.

4.3.2 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Tabla 4.9. ANOVA % Remoción SST.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	22706,611 ^a	17	1335,683	257,632	,000
Interceptación	318317,596	1	318317,596	61398,352	,000
Coagulante	17419,763	1	17419,763	3359,993	,000
Dosis	1016,298	2	508,149	98,014	,000
RPM	433,339	2	216,670	41,792	,000
Coagulante * Dosis	1675,777	2	837,889	161,615	,000
Coagulante * RPM	191,272	2	95,636	18,447	,000
Dosis * RPM	1467,736	4	366,934	70,776	,000
Coagulante * Dosis * RPM	502,426	4	125,606	24,227	,000
Error	186,641	36	5,184		
Total	341210,848	54			
Total corregido	22893,252	53			

Los valores que se aprecian referente al ANOVA de la remoción de SST, muestran que son estadísticamente significativos, ya que el valor $p < 0,05$, en todas las interacciones que se producen entre factores dentro de la investigación (Tabla 4.9).

Tabla 4.10. Prueba Tukey Dosis: Subconjunto homogéneos (SST).

Dosis	N	Subconjunto		
		1	2	3
40 ml	18	70,8983		
20 ml	18		78,1978	
10 ml	18			81,2361
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 4.11. Prueba Tukey Dosis: Comparaciones múltiples (SST).

(I) Dosis		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
10 ml	20 ml	3,0383*	,75898	,001
	40 ml	10,3378*	,75898	,000
20 ml	10 ml	-3,0383*	,75898	,001
	40 ml	7,2994*	,75898	,000
40 ml	10 ml	-10,3378*	,75898	,000
	20 ml	-7,2994*	,75898	,000

Se observa en la tabla 4.10, que la dosis de 10 ml se presenta como la mejor dosis de aplicación (Prueba Tukey: Subconjunto homogéneos). Por otra parte, en cuanto a la comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$) se observa en la tabla 4.11 que las dosis presentan significancia.

Tabla 4.12. Prueba Tukey RPM: Subconjunto homogéneos (SST).

RPM	N	Subconjunto		
		1	2	3
20 RPM	18	73,0022		
40 RPM	18		77,5039	
60 RPM	18			79,8261
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 4.13. Prueba Tukey RPM: Comparaciones múltiples (SST).

(I) RPM		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
20 RPM	40 RPM	-6,8239*	,75898	,000
	60 RPM	-4,5017*	,75898	,000
40 RPM	20 RPM	6,8239*	,75898	,000
	60 RPM	2,3222*	,75898	,011
60 RPM	20 RPM	4,5017*	,75898	,000
	40 RPM	-2,3222*	,75898	,011

Tal como se presenta en la tabla 4.12, la velocidad de agitación 60 RPM presenta mayor efecto en la remoción de SST. Por otra parte, en la tabla 4.13, se aprecia que existe significancia ($p < 0,05$) entre las diferentes velocidades de agitación utilizadas en la investigación.

Para la comprobación de los supuestos de ANOVA, se aplicó la prueba de normalidad de datos Kolmogórov-Smirnov en donde el factor coagulante presenta un valor $p > 0,05$, el factor RPM un valor $p < 0,05$ y el factor dosis un valor $p > 0,05$ (anexo 2.5). Es decir, que los valores cumplen una distribución normal para los factores de coagulante y dosis, mientras que para la velocidad de agitación no se cumple una distribución normal de los datos.

Por otra parte, en cuanto a la aplicación de la prueba de homogeneidad de varianzas – Test de Levene, el valor $p < 0,05$ en el factor coagulante, en el factor dosis el valor $p < 0,05$ y en el factor RPM el valor $p > 0,05$. Es decir, los valores obtenidos presentan homogeneidad solo en el factor RPM.

4.4 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los resultados que se han obtenido por medio del análisis de las variables sujetas en el estudio, se contrastan los datos con la hipótesis planteada, en donde se estableció que el polielectrolito producido a partir del nopal con una dosis de 40 ml y 60 RPM disminuiría la turbidez del agua del río Carrizal. Tal como se observa en la tabla 4.1, el T₁₈ (40 ml y 60 RPM) remueve la turbidez del agua del río Carrizal en un 95,61%.

Por otra parte, el tratamiento que presentó mejor remoción de turbidez fue el T₁₆ (10 ml y 60 RPM) el cual fue de 99,67%. A pesar, de que el tratamiento planteado en la hipótesis no fue el que presentó mayor remoción, tiene una eficiencia que no se encuentra tan alejada del tratamiento con mejor resultado, es por ello que se sugiere su idoneidad para la remoción de turbidez.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se concluye que:

En el proceso de deshidratación para la obtención de la harina de nopal, se obtuvo una pérdida de peso del mucílago del 91%. Por otra parte, en cuanto a la obtención del polielectrolito se logró obtener 1000 ml, partiendo de 500 g de mucílago de nopal. Por lo cual existe, un mayor rendimiento en la obtención del polielectrolito.

En cuanto a la eficiencia del nopal como coagulante se pudo determinar que, la harina de nopal presentó un 78,79% de remoción de turbidez aplicando 10 ml de harina diluida, con una velocidad de agitación de 60 RPM (T₇). Mientras que, su menor resultado fue de 30,24%, en donde se aplicó 40 ml de solución y 60 RPM (T₉). La aplicación del polielectrolito obtuvo mayor eficiencia (99,67%) al aplicar 10 ml con una velocidad de 60 RPM (T₁₆), mientras que, el tratamiento con menor eficiencia reportó un 86,2% en el T₁₁ (20 ml y 20 RPM). En cuanto a la remoción de SST se observa que el polielectrolito obtuvo una mayor eficiencia (99,65%) en el T₁₆ (10 ml y 60 RPM), mientras que, la aplicación del coagulante como harina presentó su mayor eficiencia en el tratamiento T₇ (78,77%).

El polielectrolito presenta un mejor aprovechamiento del mucilago de nopal, al generar mayor cantidad de coagulante con una masa inferior de mucilago, respecto a la obtención de la harina. Por otra parte, se evidenció que el uso de polielectrolito presenta mejores resultados, estando su eficiencia por encima de 86,2%.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda:

Promover el uso del coagulante natural de nopal, en forma de polielectrolito, ya que presenta mejor rendimiento en la obtención de coagulante natural.

Usar el polielectrolito de nopal a velocidades ≥ 60 RPM con una dosificación de 10ml/500ml para la remoción de turbidez y SST.

Aplicar coagulante natural de nopal, para observar el efecto que puede generar en otros parámetros, tanto físicos (pH, ST, SDT, conductividad, entre otros), químicos (Oxígeno disuelto, fosfatos, nitratos, entre otros) y biológicos (bacterias, hongos y coliformes fecales), ya que estos parámetros son los de más importancia para los diferentes usos del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, Y., & Huaman, H. (2021). *“Eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (Opuntia ficus – indica) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica - 2019”* [Universidad Nacional De Huancavelica]. <https://civilica.com/doc/918591/>
- Achachi, R. D. (2018). *El nopal como ingrediente de la cocina fusión: experiencia Ecuador* [Universidad Técnica De Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29460>
- Aguirre, S., Piraneque, N., & Cruz, R. (2018). Natural substances: Alternative for the treatment of magdalena river’s water in palermo Colombia. *Informacion Tecnologica*, 29(3), 59–70. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>
- Andrade, E. M., & Ponce, W. D. (2016). *Determinación De Los Niveles De Metales Pesados En La Microcuenca Del Río Carrizal Del Cantón Bolívar, Provincia De Manabí*. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/7155>
- Aveiga, A. M., Noles, P., De La Cruz, A., Peñarrieta, F., & Alcantara, F. (2019). Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí TT - Variations of the water quality of the Carrizal River in Manabi. *Enfoque UTE*, 10(3), 30–41. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000300030&lang=es%0Ahttp://none/pdf/enfoqueute/v10n3/1390-6542-enfoqueute-10-03-00030.pdf
- Azabache, I. F., & Rodríguez, L. E. (2019). *Efecto del proceso de coagulación floculación, con polielectrolitos naturales, en la remoción de la turbidez y el color, para el tratamiento de potabilización del agua de la quebrada Pucacaca, distrito de Soritor, Moyobamba 2016*. http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3499/INF_INVEST.-2016-Yrwin-Francisco-Azabache-Liza.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ballesteros, T. A., & Ñacato, V. F. (2020). *Análisis de la deforestación en la erosión hídrica del suelo y sedimentación de la microcuenca del río Blanco, Carchi*.

[Universidad Técnica Del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10583>

- Barahona, M. C., & Tapia, R. S. (2010). *Calidad Y Tratabilidad De Aguas Provenientes De Ríos De Llanura Y Embalses Eutrofizados, Caso De Estudio: Carrizal-Chone La Esperanza*. 211. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2630/1/T-ESPE-029823.pdf>
- Bermúdez-Vera, M. A., Fosado-Tellez, O. A., & Cañarte-Bermúdez, E. G. (2020). *Moscas de la fruta (diptera: tephritidae) y sus hospederos en el área del carrizal-chone, manabí fruit flies (Diptera: tephritidae) and their hosts in the Carrizal-Chone area, MANABI*. 11, 1–11. <https://doi.org/10.51>
- Bravo, M. A. (2017). Coagulantes Y Floculantes Naturales Usados En La Reducción De Turbidez, Sólidos Suspendidos, Colorantes Y Metales Pesados En Aguas Residuales. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 117. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAl ejandra2017.pdf>
- Cabrera, N. C., Hernández, A. R., Simancas, E. del P., Ayala, J. M., & Almanza, K. (2017). Coagulantes naturales extraídos de Ipomoea incarnata en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Scientia et technica*, 22(1), 109. <https://doi.org/10.22517/23447214.13281>
- Caceres, L. G., & Castiblanco, L. X. (2020). *Evaluación de la opuntia ficus indica (cactus) como coagulante natural para el tratamiento de agua potable de la empresa emservilla en el Municipio de Ubaté*. <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/8103/1/6162947-2020-III-IQ.pdf>
- Canaza, G. J., & Mamani, Y. (2020). Revisión del uso de coagulantes naturales para remoción de turbidez de agua. *Universidad Peruana Unión*. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/3334/Gabi_Trabajo_Bac_hiller_2020.pdf?sequence=1
- Cando, K. E., & Gallardo, L. A. (2020). *Sustitución parcia de la harina de trigo por*

harina de nopal en la elaboración de pan (Vol. 1) [Universidad técnica de cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>

Carrasquero, S., Martínez, M. F., Castro, M. G., López, Y., Díaz, A., & Colina, G. (2019). Remoción de turbidez usando semilla de *Tamarindus indica* como coagulante en al potabilización de aguas. *Revista Bases de la Ciencia. e-ISSN 2588-0764*, 4(1), 19. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i1.1424

Carreño-Mendoza, A. L., Lucas-Vidal, L. R., Hurtado, E. A., Barrios-Maestre, R., & Silva-Acuña, R. (2019). Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la microcuenca del Río Carrizal, Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 11, 76–87. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i21.1869

Cevallos Fernández, E. L. (2016). *Estudio de la incorporación de pulpa de penca de nopal (Opuntia ficus indica) en la elaboración de mermelada de mora de castilla (Rubus glaucus)*. http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14345/1/66135_1.pdf

Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Pacheco-Ramos, B. S., & Reynoso-Solano, A. M. (2021). Capacidad Floculante De Coagulantes Naturales En El Tratamiento De Agua. *Conservação e Meio Ambiente*, 70–82. <https://doi.org/10.22533/at.ed.5672127015>

Contreras, K. P., Aguas, Y., Salcedo, J. G., Olivero, R., & Mendoza, G. P. (2015). *El Nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua*. 10(1), 40–50. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n1/v10n1a04.pdf>

Del Valle, M. P. (2017). *Eficiencia De Remoción De Sólidos Suspendidos Mediante El Uso De Biopolímeros En Agua Turbia Del Estero Salado*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/22573>

Díaz Aliaga, S. (2018). Remoción de turbidez de aguas superficiales mediante floculación. En *Universidad Privada del Norte*.

[https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22046/Díaz Stuart.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22046/Díaz%20Stuart.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Aliaga

EMMAP-EP. (2019). *CUENTAS DE LA GESTION DEL AÑO 2019*.

Endara, C. A., & Zambrano, G. E. (2021). *Aprovechamiento del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) como alternativa de producción de biocombustible en la ciudad de Calceta-Bolívar- Manabí* [ESPAM]. <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1426/1/TTMA19D.pdf>

Escobal, L. (2018). *Eficiencia de Armatocereus rauhii y Espostoa mirabilis en la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua para consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas*. 76. http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/140489/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=60&etal=5&null=&offset=964

Flores, L. A., Lostado, R., & Corral, M. (2019). Uso del programa simapro para evaluar coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *Biotecnia*, 21(3), 108–113. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i3.1039>

Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *ECAPMA*, 1(1), 1–7. <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771/2857>

Gómez-Duarte, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista Facultad de Medicina*, 66(1), 7–8. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>

Gómez Chaves, J. M., & Manrique Prieto, I. A. (2016). *Diseño y construcción de una torre de sedimentación para la evaluación de los procesos de remoción y eficiencia en el tratamiento de agua potable*. 127. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13900/4/diseño y construcción de una torre de sedimentación para la evaluación de los procesos de remoció.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13900/4/diseño_y_construcción_de_una_torre_de_sedimentación_para_la_evaluación_de_los_procesos_de_remoción.pdf)

González, Y. D. C., López, A., & Potella, G. (2020). Eficiencia de *opuntia ficus indica*

- (cruda y desecada) como coagulante para la clarificación de aguas. *Revista de Ingeniería Invención*, 2(2), 11–22. <https://doi.org/10.33996/rini.v2i2.167>
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>
- INEN 2176:2013 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo, 2013 1 (2013). https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_o_con_portada_tcm30-214764.pdf
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). *Agua, Calidad Del Agua, Muestreo, Manejo Y Conservación De Muestras*. 1, 23. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2169.pdf>
- López, M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*. 131. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3541>
- López, M. R. (2019). *Caracterización de la calidad del agua para consumo humano en sectores rurales del cantón Quevedo*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3729/1/T-UTEQ-0082.pdf>
- Loyo Godoy, M. del C. (2018). *Evaluación de los efectos del uso del mucílago de nopal Opuntia ficus-indica y la temperatura en la clarificación de jugo de caña sobre el color de la panela* [Universidad Técnica Del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8018>
- Lozano, L. L. (2018). Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de Opuntia ficus-indica (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018. *Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo*. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/721>
- Macías, M. M. (2015). Evaluación de la turbidez como indicador básico de la calidad

de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales y su efecto en el proceso de potabilización del agua en la planta de tratamiento de agua potable “cuatro esquinas” Portoviejo. *La Evasión Tributaria E Incidencia En La Recaudación Del Impuesto a La Renta De Personas Naturales En La Provincia Del Guayas, Periodo 2009-2012, Proyecto De Factibilidad Técnica, Económica Y Financiera Del Cultivo De Ostra Del Pacífico En La Parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia De Santa Elena*, 136.

Macias Vera, G. E., & Zambrano Zambrano, R. G. (2020). Evaluación de la gestión administrativa del Gad Parroquial Ángel Pedro Giler Del Cantón Tosagua 2014-2017 [ESPAM]. En *Espam*.
<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1055/1/TTMAI5.pdf>

Magro, S., & Pérez Maurice, M. B. (2017). Evaluación de nopales (*Opuntia ficus indica*) como fuente de calcio. en *evaluación de nopales (Opuntia ficus indica) como fuente de calcio*.
https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/7567/PFI_Nopales_050517.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Medina Solano, C. E. (2018). *Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas residuales domésticas*.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15053/1/T-UCE-0012-066-2018.pdf>

Mejía Ajcucún, W. R. (2017). Sedimentador circular a escala piloto para espesamiento de lodos residuales de un proceso de fabricación de ZnSO₄, en la planta de fertilizantes de la empresa representaciones químicas, s. a. *Emecanica.Ingenieria.Usac.Edu.Gt*, 1–75.
<http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/6ARTÍCULO-III-INDESA-SIE.pdf>

Montesdeoca Loor, H. G., & Mendoza Giler, J. E. (2018). *Eficiencia de la semilla de moringa (moringa oleífera) en la remoción de sólidos suspendidos totales en aguas*.

- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. H., & Escobar, J. C. (2011). Efecto Del Incremento En La Turbiedad Del Agua Cruda Sobre La Eficiencia De Procesos Convencionales De Potabilización (Effect of Increase of Raw Water Turbidity on Efficiency of Conventional Drinking Water Treatment Processes). *Revista EIA*, 8(16), 137–148. <http://repository.eia.edu.co/revistas/index.php/reveia/article/view/438>
- Neciosup Obando, A. R., Valderrama Ramos, I., & Nole Burgos, M. A. (2019). Influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de turbiedad del agua del río Pollo-Otuzco. *Revista De Investigación Estadística*, 2(1), 12–19. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REDIES/article/view/2821/2896>
- Nieto Yanac, M. S. (2021). “Utilización de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante orgánico en el tratamiento de aguas [Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. [http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/5132/MAYTIE SHEYLA NIETO YANAC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/5132/MAYTIE_SHEYLA_NIETO_YANAC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Núñez, R. G. (2017). Validación de métodos de ensayo para la determinación de compuestos fenólicos y turbidez en agua para el laboratorio de la Refinería Esmeraldas. 11(1), 92–105.
- Obando, C. (2014). *Estudio de cultivo del maíz cosechado con agua residual procedente de la laguna de oxidación del sitio joa cantón Jipijapa, Periodo 2013*.
- 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(1), 71–79. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n1a6>
- Orduz, O., & Portilla, J. (2017). Determinación de las curvas características de la sedimentación tipo ii con diferentes coagulantes comerciales a nivel laboratorio. *Universidad Católica de Colombia*, 87, 149–200. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14455/1/PROYECTO>

SEDIMENTACION TIPO II.pdf

- Ortiz Carvajal, M. F. (2020). *Evaluación de la cáscara de Plátano (AAB SIMMONDS) como coagulante natural para la clarificación de aguas*. https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/1276/1/Ortiz_Carvajal_Mario_Fernando-2020.pdf
- Pacheco Cobeña, Á. J. (2018). *Susceptibilidad a inundaciones por intensas lluvias en el cantón Rocafuerte* [Universidad Estatal Del Sur De Manabí]. http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1302/1/TESIS_COMPLETA_Angelo_Pacheco_2018_terminada.pdf
- Paco, G. (2014). *Procedimiento para la aplicación y validación oficial del sistema HCCP en la fabricación de alimentos y bebidas de consumo humano*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4194/IApaalgs013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pajuelo Henostroza, M. S. (2018). Determinación de la velocidad de sedimentación utilizando el almidón de manihot esculenta (yuca), para la clarificación de las aguas superficiales del río Macashca – 2016. En *Ciencia e Investigación* (Vol. 4, Número 1). https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM_3681d131941ec35507390c23e565dc89
- Pantoja Villagomez, I. (2019). *Tratamiento de agua residual sintética contaminada con colorante negro 601 mariposa mediante Moringa oleifera* [Instituto Tecnológico Superior Del Sur de Guanajuato]. <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/932/1/007152DOC1.pdf>
- Pazmiño-Rodríguez, J. C., Zambrano-Ganchozo, G. L., & Coello-Burgos, H. A. (2018). Water quality modeling of the Aguas Claras stream, canton Quevedo, Ecuador. *DYNA (Colombia)*, 85(204), 204–214. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.65847>
- Pérez Servín, I. (2021). *Caracterización de los principales componentes del nopal*

forrajero (Opuntia ficus-indica) deshidratado [Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo].
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/6422/FQFB-M-2021-0751.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Plan Nacional para el Buen vivir, 1 Registro Oficial Suplemento 71 de 04-sep.-2017 600 (2017). <http://ftp.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2013/PLAN-NACIONAL-PARA-EL-BUEN-VIVIR-2013-2017.pdf?fbclid=IwAR3jlfnsi5bG5t1iBATpHE3lg0aNqnDf9W7kZJpVk4kbhatYTfbl4BxQvks%0Ahttp://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/07/Plan-Nacional-p>

Puma Condori, Y. (2020). *Evaluación del proceso de coagulación y floculación con mucilago de opuntia ficus indica como adyuvante del FeCl3 en efluentes de servicios de comida* (Vol. 2017, Número 1) [Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa Facultad De Ingenieria De Procesos Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental].
<http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/11237/IApucoy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Razuri Malqui, K. E. (2017). Disminución del contenido de la DBO5 y la DQO mediante coagulantes naturales (Aloe Vera L. y Opuntia ficus indica) en las aguun coagulante en forma de polvo de Cactusas del canal de regadío E-8 Chuquitanta – San Martín de Porres. En *Universidad César Vallejo*.
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/3588>

Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI, 0 Registro Oficial Suplemento 2 de 31 marzo 2003 18 (2015).
<http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>

Rodriguez Bravo, R. A., & Zambrano Medrano, E. J. (2017). *Incidencia de los usos de suelo en la calidad de vida de los habitantes de la Microcuenca Del Rio Carrizal* [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López].

<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/609/1/TMA127.pdf>

- Sánchez-Gutiérrez, R., & Gómez-Castro, C. (2021). Acercamiento a los procesos de modelación de la calidad del agua en una subcuenca. Caso del río Virilla, Costa Rica. *Uniciencia*, 35(1), 71–89. <https://doi.org/10.15359/ru.35-1.5>
- Sánchez Sandoval, P. A., & Quintero Medellín, P. A. (2020). Análisis de la capacidad desinfectante y de remoción de turbidez de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) en aguas del río Teusacá En La Vereda El Salitre, La Calera. En *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/19223/Trabajo_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Santisteban Tineo, E. N. (2020). Aplicación de *Opuntia ficus - indica* (Nopal) como coagulante natural para la biorremediación de aguas residuales: Revisión sistemática. En *Universidad César Vallejo*. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Silva, M. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias Para optar el Título Profesional de Ingeniera Química* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/7155/Silva_cm.pdf?sequence=3
- Uriarte Ortiz, A. S. (2019). Remoción del zinc del efluente de la mina Contonga mediante la coagulación y floculación. En *Universidad Ricardo Palma*. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/1040>
- Veliz, E., LLanez, J. G., Fernández, L. A., & Bataller, M. (2016). Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(1), 17–34. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n1/2007-2422-tca-7-01-00017.pdf>
- Vielman Ramírez, R. E. (2019). *Determinación del ph óptimo de coagulación,*

mediante los coagulantes sulfato de aluminio y sulfato ferroso de las aguas residuales de una industria de alimentos. 53, 1–75.
<http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/6ARTÍCULO-III-INDESA-SIE.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. FOTOGRÁFICOS.



Anexo 1.1. Cultivo Controlado de Nopal



Anexo 1.2. Penca de Nopal



Anexo 1.3. Pelado de la penca



Anexo 1.4. Mucilago de Nopal



Anexo 1.5. Mucilago a deshidratarse



Anexo 1.6. Mucilago deshidratado



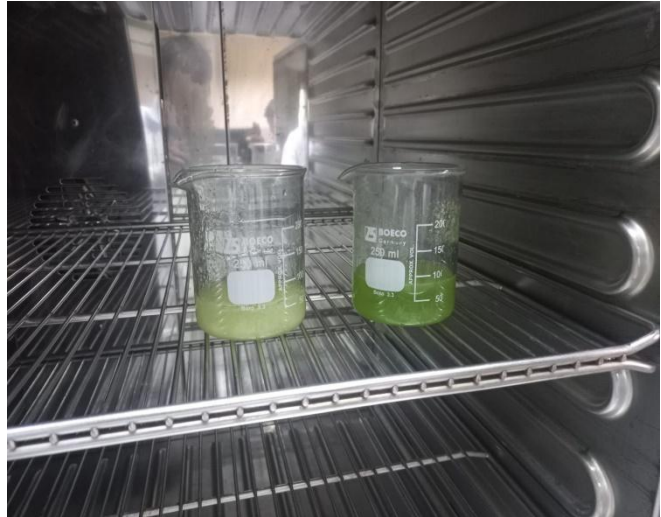
Anexo 1.7. Harina de Nopal



Anexo 1.8. Solución 8% de la harina de Nopal



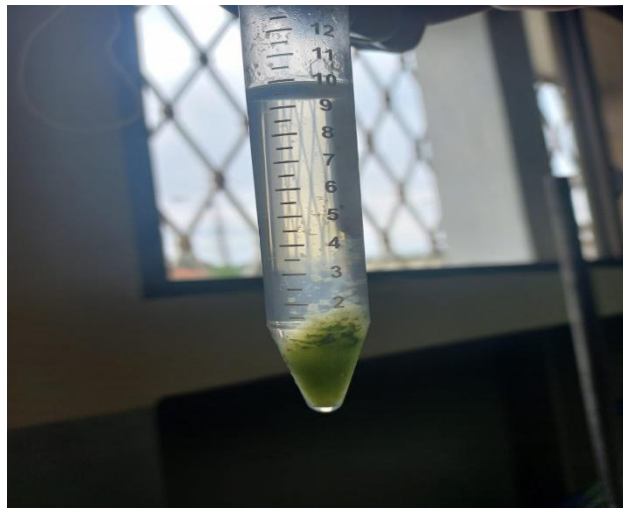
Anexo 1.9. Triturado del mucilago
50°C



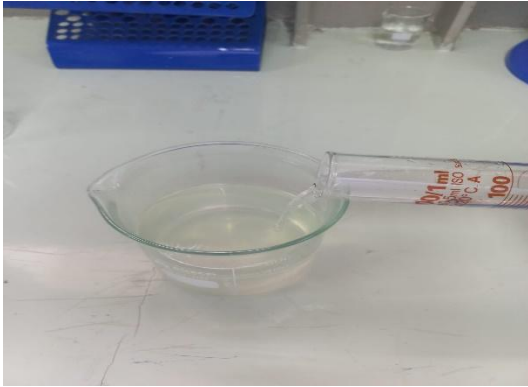
Anexo 1.10. Mucilago triturado en la estufa a



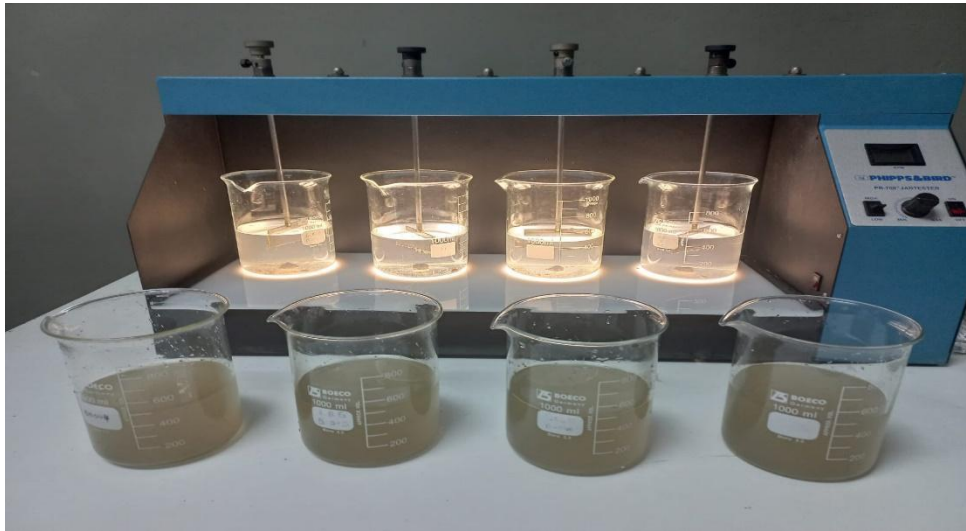
Anexo 1.11. Centrifugado
centrifugado



Anexo 1.12. Sobrenadante después del

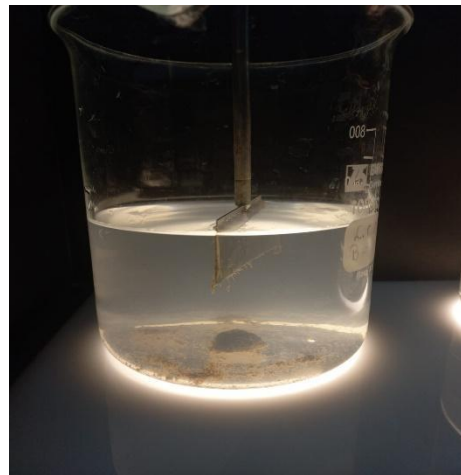


Anexo 1.13. Mezcla Etanol y sobrenadante



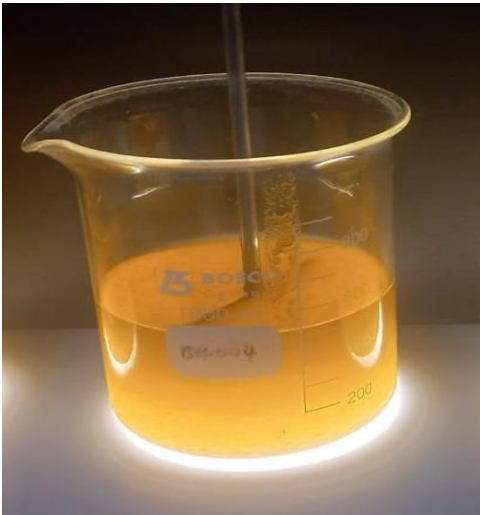
Anexo 1.14. Prueba de Jarra

Anexo 1.15. Coagulación Polielectrolito





Anexo 1.16. Resultado aplicación polielectrolito



Anexo 1.17. Coagulación Solución Harina de Nopal



Anexo 1.18. Resultado aplicación solución harina de Nopal



Anexo 1.19. Resultado mejor tratamiento (0,63 NTU)

ANEXO 2. SUPUESTOS.

Anexo 2.1. Prueba Normalidad (Turbidez).

Pruebas de normalidad			
Factor	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Coagulante	,170	54	,0845
Dosis	,221	54	,076
RPM	,270	54	,002

Anexo 2.2. Prueba de homogeneidad de varianza Coagulante (Turbidez).

Prueba de homogeneidad de varianza					
		Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Eficiencia	Se basa en la media	12,467	1	52	,001
	Se basa en la mediana	11,802	1	52	,001
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	11,802	1	32,556	,002
	Se basa en la media recortada	13,519	1	52	,001

Anexo 2.3. Prueba de homogeneidad de varianza RPM (Turbidez).

Prueba de homogeneidad de varianza					
		Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Eficiencia	Se basa en la media	1,396	2	51	,257
	Se basa en la mediana	,694	2	51	,504
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,694	2	24,505	,509
	Se basa en la media recortada	1,087	2	51	,345

Anexo 2.4. Prueba de homogeneidad de varianza Dosis (Turbidez).

Prueba de homogeneidad de varianza					
		Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Eficiencia	Se basa en la media	15,360	2	51	,000
	Se basa en la mediana	12,727	2	51	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	12,727	2	43,236	,000
	Se basa en la media recortada	15,205	2	51	,000

Anexo 2.5. Prueba Normalidad (SST).

Pruebas de normalidad			
Kolmogorov-Smirnov ^a			
	Estadístico	gl	Sig.
Coagulante	,170	54	,0845
Dosis	,221	54	0,076
RPM	,270	54	,0025

Anexo 2.6. Prueba de homogeneidad de varianza Coagulante (SST).

Prueba de homogeneidad de varianza					
		Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Eficiencia_SST	Se basa en la media	12,468	1	52	,001
	Se basa en la mediana	11,798	1	52	,001
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	11,798	1	32,546	,002
	Se basa en la media recortada	13,520	1	52	,001

Anexo 2.7. Prueba de homogeneidad de varianza Dosis (SST).

Prueba de homogeneidad de varianza					
		Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Eficiencia_SST	Se basa en la media	15,364	2	51	,000
	Se basa en la mediana	12,729	2	51	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	12,729	2	43,234	,000
	Se basa en la media recortada	15,208	2	51	,000

Anexo 2.8. Prueba de homogeneidad de varianza RPM (SST).

Prueba de homogeneidad de varianza					
		Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Eficiencia_SST	Se basa en la media	1,396	2	51	,257
	Se basa en la mediana	,693	2	51	,504
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,693	2	24,502	,509
	Se basa en la media recortada	1,087	2	51	,345

ANEXO 3. CÁLCULO SST.

Anexo 3.1 Datos para el cálculo de SST

Turbidez (NTU)	SST (mg/L)
122	421
118	381
120	419
118	398
119	351
120	372
166	469
162	429
161	437
213	639
215	647
208	635
132	411
134	378
142	393
97	345
93	272
98	378
12	41
9	33
10,5	38
1,13	5
0,75	4
0,8	5
11,5	38
11	35
12,5	35

Anexo 3.2 Gráfico Datos para el cálculo de los SST.

