



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ALMIDÓN DE MAMEY
ZAPOTE (*POUTERIA SAPOTA*), COMO COAGULANTE PARA LA REMOCIÓN DE
TURBIEDAD EN AGUA CRUDA SINTÉTICA**

Gabriela Jazmín Rubí Lainez González
Asesorado por Ing. Ana Rufina Herrera Soto

Guatemala, agosto de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ALMIDÓN DE MAMEY
ZAPOTE (*POUTERIA SAPOTA*), COMO COAGULANTE PARA LA REMOCIÓN DE
TURBIEDAD EN AGUA CRUDA SINTÉTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GABRIELA JAZMÍN RUBÍ LAINEZ GONZÁLEZ
ASESORADO POR ING. ANA RUFINA HERRERA SOTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

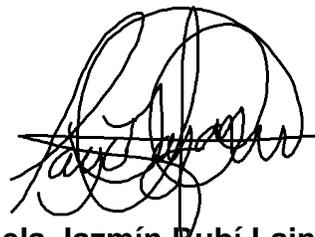
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
EXAMINADOR	Ing. Julio Ricardo Díaz Pappa
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ALMIDÓN DE MAMEY
ZAPOTE (*Pouteria Sapota*), COMO COAGULANTE PARA LA REMOCIÓN DE
TURBIEDAD EN AGUA CRUDA SINTÉTICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 13 de agosto del 2022.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line across the middle, positioned above the printed name.

Gabriela Jazmín Rubí Lainez González

Guatemala 07 de Julio de 2022

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: **“PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ALMIDÓN DE MAMEY ZAPOTE (*Pouteria sapota*), COMO COAGULANTE PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN AGUA CRUDA SINTÉTICA”**, elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, **Gabriela Jazmín Rubí Lainez González**, quien se identifica con el registro académico **2015-03858** y con el CUI **2950 89121 0101**

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,

ANA RUFINA HERRERA SOTO
INGENIERA QUÍMICA
COL. 2151



Ana Rufina Herrera Soto
ASESOR
Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 2151



Guatemala, 03 de marzo de 2023.
Ref. EIQ.TG-IF.004.2023.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **066-2019**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Gabriela Jazmín Rubí Lainez González**.
Identificado con número de camé: **2950891210101**.
Identificado con registro académico: **201503858**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **TESIS (Informe Final, Seminario de Investigación)**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ALMIDÓN DE MAMEY ZAPOTE (*Pouteria sapota*), COMO COAGULANTE PARA LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD EN AGUA CRUDA SINTÉTICA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Ana Rufina Herrera Soto, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Gerardo Ordoñez
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



M.Sc. Ing. Gerardo Ordoñez
Ingeniero Químico
Colegiado No. 1296
Maestría Seguridad Industrial

C.c.: archivo



LNG.DIRECTOR.180.EIQ.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ALMIDÓN DE MAMEY ZAPOTE (POUTERIA SAPOTA), COMO COAGULANTE PARA LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD EN AGUA CRUDA SINTÉTICA**, presentado por: **Gabriela Jazmín Rubí Lainez González** , procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Williams C. Alvarez Mejía: Mg.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre de 2023.

LNG.DECANATO.OI.607.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ALMIDÓN DE MAMEY ZAPOTE (POUTERIA SAPOTA), COMO COAGULANTE PARA LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD EN AGUA CRUDA SINTÉTICA**, presentado por: **Gabriela Jazmín Rubí Lainez González**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, septiembre de 2023

JFGR/gaac

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por la oportunidad de estar hoy presente aquí y por acompañarme en todos los momentos de mi vida, en los buenos y en los malos, y darme la fuerza, la sabiduría, la salud, para poder hoy estar concluyendo mi sueño.

Mi papá

Armando Lainez, por guiarme en cada etapa de mi vida, porque siempre sabía que podía contar con él en cualquier momento, también siempre se tomaba el tiempo de brindarme su sabiduría, porque estuvo para apoyarme en cada momento, por tenerme la paciencia necesaria, porque me dejó concluir este sueño y por ser el padre que fue en mi vida y no hay palabras para describir lo tan agradecida que estoy con él y para describir el amor que siento por él. Gracias Padre (q. e. p. d.).

Mi mamá

Brenda González, por siempre cuidarme en cada momento, por enseñarme a siempre ser fuerte y perseverante, porque siempre he podido contar ella incondicionalmente, por regalarme su tiempo, por hacerme tiempo y esperarme cada vez que me llevaba y traía de la universidad, porque siempre ha estado para guiarme.

Mis hermanos

Marilyn y Armando Lainez, por ayudarme y aconsejarme cuando era necesario, por siempre cuidar de mí, por ser mis ejemplos para seguir y brindarme su cariño incondicionalmente.

Mis abuelos

Leonzo Lainez y Ambrosia Elías, por siempre cuidar de mí, darme su amor incondicional, por siempre estar en cada etapa de mi vida, por enseñarme hacer la persona que hoy soy, por siempre estar acompañándome en toda mi vida, por darme todo su tiempo y siempre estar presentes. (q. e. p. d.).

Mis tíos

Leonardo, Victor, Marina Lainez e Hilda Navarro, por acompañarme en cada etapa de mi vida, por aconsejarme y darme su tiempo, su apoyo y cariño en todo momento.

Mis primos

Liz y Alejandro Lainez, por ser ejemplo de perseverancia, por ayudarme y aconsejarme en mi vida, por siempre estar ahí, apoyarme en cada etapa y por el cariño que siempre me han tenido.

Mi asesora

Ana Rufina Herrera Soto, por siempre apoyarme y por estar ahí en cada momento, porque siempre me exigía para que diera todo de mí, por ser también mi amiga que me ayudó en el momento indicado como se debía.

Mis amigos

De la universidad y de la carrera, por compartir el mismo objetivo, las mismas alegrías, tristezas, por darme el apoyo incondicional, por ayudarme en cada etapa que pasamos juntos, por las experiencias, por darme siempre una mano y por siempre estar ahí.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la institución que me dio la oportunidad de poderme desarrollar profesionalmente, por darme una educación y orientarme a ser una buena Ingeniera Química.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme sus aulas, por ser el centro de enseñanza que me brindo el conocimiento necesario para desarrollarme como una Ingeniera y ayudarme a enfrentarme a cualquier reto.
Inga. Ana Rufina Herrera Soto	Por su paciencia, su apoyo, tiempo y ayudarme en cada etapa para desarrollar la tesis y seguir siempre está detrás de mí.
Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina	Por abrirme las puertas de su laboratorio, permitirme utilizar los equipos de laboratorio necesarios para poder concluir la tesis.
Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería	Por permitirme usar las instalaciones y el equipo para poder investigar y desarrollar mi trabajo de graduación.

Mi familia

Por siempre estar conmigo en cada momento y darme su amor incondicional.

Mis amigos

Por todos esos momentos que pasamos juntos, por estar ahí por ser esas personas tan especiales que han sido conmigo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPOTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Justificación	6
1.2. Determinación del problema.....	6
1.3. Delimitación	7
2. MARCO TEORICO.....	9
2.1. Coagulación.....	9
2.1.1. Cinética o etapas de la coagulación	10
2.1.2. Coagulantes utilizados.....	12
2.1.3. La dosis del coagulante	12
2.1.4. Factores que influyen en la coagulación.....	13
2.1.4.1. El pH.....	13
2.1.4.2. La temperatura del agua.....	13
2.2. Floculación	14
2.2.1. Parámetros de la floculación.....	14
2.3. Coagulantes orgánicos	15
2.4. Prueba de jarras	15

2.5.	Turbiedad	16
2.5.1.	Técnicas tribidimetrias de medición	17
2.5.2.	Significado sanitario de la turbiedad.....	17
2.6.	Almidón	18
2.6.1.	Características básicas del almidón	19
2.7.	Prueba de identificación	20
2.8.	Mamey zapote.....	20
3.	DISEÑO METODOLOGICO.....	23
3.1.	Variables	23
3.2.	Delimitación de campo de estudio	23
3.3.	Etapas de la investigación.....	24
3.4.	Ubicación del desarrollo de la investigación.....	24
3.5.	Recursos humanos disponibles	24
3.6.	Recursos materiales disponibles.....	24
3.6.1.	Equipo	25
3.6.2.	Cristalería	25
3.6.3.	Reactivos.....	25
3.7.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	26
3.7.1.	Metodología experimental para la elaboración de la gelatinización de almidón de mamey zapote	26
3.7.2.	Prueba de almidón de mamey zapote	26
3.7.3.	Metodología experimental para preparar el agua cruda sintética	28
3.7.4.	Primera parte de la metodología para verificar si el coagulante reduce la turbiedad del agua.....	28
3.7.5.	Metodología dosis óptima para el coagulante a partir del almidón de mamey zapote	29
3.7.6.	Metodología sulfato de aluminio	30

3.7.7.	Metodología dosis óptima para el coagulante a partir del almidón de mamey zapote.....	31
3.7.8.	Metodología sulfato de aluminio	32
3.8.	Recolección y ordenamiento de la información	33
3.9.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	35
3.10.	Análisis estadístico	38
3.10.1.	Diseño estadístico	38
3.10.2.	Plan de análisis de los resultados.....	39
3.10.2.1.	Comparación del promedio de dos muestras apareadas	39
3.10.2.2.	Datos para realizar la ANDEVA.....	40
3.10.2.2.1.	Media aritmética	40
3.10.2.2.2.	Desviación estándar	40
3.10.2.2.3.	Coficiente de variación	41
3.10.2.2.4.	Suma total de cuadrados.....	41
3.10.2.2.5.	Suma de cuadrados por error	42
3.10.2.2.6.	Cuadrado promedio por tratamiento	43
3.10.2.3.	Método de Turkey.....	43
3.10.3.	Programas a utilizar para análisis de datos	44
4.	RESULTADOS.....	45
5.	INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	55

CONCLUSIONES.....61
RECOMENDACIONES63
REFERENCIAS65
APÉNDICES.....69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Modelo esquemático del proceso de coagulación.....	11
2.	Diferencias de mamey amaricana L. y Pouteria sapota	21
3.	Obtención del almidón de mamey zapote	27
4.	Prueba para identificar presencia de almidón de mamey.....	27
5.	Turbiedad del coagulante natural mezclas de 500 a 250 RPM	45
6.	Color inicial y final del coagulante natural mezclas (500 a 250 RPM)	45
7.	pH en función del coagulante natural mezcla 500 a 250 RPM.....	46
8.	Efectividad la turbiedad de coagulante natural mezcla 500-250 RPM ...	46
9.	Turbiedad del coagulante natural mezcla 100 a 60 RPM.....	47
10.	Color en función del coagulante natural mezcla 100 a 60 RPM.....	47
11.	pH función del coagulante natural mezclas 100 a 60 RPM	48
12.	Efectividad de la turbiedad con mezclas 100 a 60 RPM	48
13.	Turbiedad de coagulante químico con mezclas 500 a 250 RPM.....	49
14.	Color en función del coagulante químico con mezclas 500-250 RPM....	49
15.	pH coagulante de Sulfato de aluminio mezclas 500 a 250 RPM	50
16.	Efectividad de la turbiedad con coagulante mezclas 500-250 RPM.....	50
17.	Turbiedad del coagulante químico con mezclas 100-60 RPM.....	51
18.	Color del coagulante químico con mezclas de 100 a 60 RPM	51
19.	pH del coagulante químico con mezclas de 100 a 60 RPM	52
20.	Efectividad de la turbiedad con coagulante químico (100 a 60 RPM)	52
21.	Efectividad de la turbiedad con mezclas 500 a 250 RPM	53
22.	Efectividad de la remoción en la turbiedad (500-250 RPM)	53

TABLAS

I.	Variables del procedimiento experimental	23
II.	Proporciones a las que se trabajo	29
III.	Proporciones a las que se trabajó la dosis de $Al_2(SO_4)$	30
IV.	Proporciones a las que se trabajó el almidón de mamey.....	31
V.	Proporciones a las que se trabajó el $Al_2(SO_4)$	32
VI.	Verificación de la efectividad del coagulante orgánico.....	33
VII.	Evaluación de la dosis óptima del coagulante natural	34
VIII.	Evaluación de la dosis óptima del sulfato de aluminio	35
IX.	Promedio de las variables del coagulante natural	36
X.	Desviación estándar de las variables del coagulante natural	36
XI.	Promedio de la evaluación de la dosis óptima del coagulante.....	36
XII.	Promedio de la evaluación de la dosis óptima del coagulante.....	37
XIII.	Desviación estándar de la evaluación de la dosis óptima.....	37
XIV.	Desviación estándar de la evaluación de la dosis optima.....	37
XV.	Descripción del análisis estadístico	38
XVI.	Relación entre variables	39
XVII.	Tabla de análisis de varianza	42
XVIII.	Aplicación de la prueba muestral de turkey	44

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
(KAl(SO₄)₂•12H₂O)	Alumbre de potasio
Al	Aluminio
Cm	Centímetros
C₁-C₆	Concentración
°	Grados
g	Gramos
NaOH	Hidróxido de Sodio
Fe	Hierro
µm	Micrómetro
mg/L	Miligramo sobre litros de disolución
mL	Mililitros
mm	Milímetro
M	Molaridad
µ_{Tf}	Población de la turbidez final
µ_{T0}	Población de la turbidez inicial
µ_Z	Población de los datos obtenidos del almidón de zapote.
µ_{Al}	Población de los datos obtenidos del sulfato de aluminio.
µ_{C6-C1}	Población desde la primera concentración hasta la última.
%	Porcentaje
pH	Potencial de Hidrogeno

RPM	Revoluciones por minuto
FNU	Unidades Nefelométrica de Formación
NTU	Unidades Nefelométrica de Turbidez

GLOSARIO

Coagulación	Proceso que neutraliza los sólidos suspendidos cargados en el agua.
Coloide	Es una mezcla de sustancias que se encuentran entre las soluciones y las suspensiones y cuyas partículas tienen un tamaño entre los 10 y 100 nanómetros.
Cruda Sintética	Es agua tratada que se le adiciona un compuesto en particular para modificar una de las características en específico y así lograr las condiciones del agua constantes.
Floculación	Es el proceso físico de mezclar lentamente el agua coagulada para aumentar la probabilidad de colisión de partículas. La mezcla efectiva reduce la cantidad requerida de productos químicos y mejora en gran medida el proceso de sedimentación.
Hidrólisis	Es la destrucción, descomposición o alteración de una sustancia química por el agua.
Precipitación	Es un proceso de obtención de un sólido a partir de una disolución.

Prueba de jarras

Es una prueba que ayuda en el tratamiento de aguas, para lograr simular la cantidad de coagulante es necesario y floculante para que el proceso de tratamiento de aguas sea más efectivo.

Turbiedad

Características que hace aparecer el agua como turbia o barrosa. Resistencia a que la luz pase.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como principal objetivo utilizar un coagulante natural elaborado de almidón de mamey zapote (*Pouteria sapota*), para la remoción de la turbiedad de agua cruda sintética a escala laboratorio. Se evaluó la efectividad y la dosis óptima del coagulante mediante la realización de pruebas de jarras, en donde se comparó la turbiedad y color del coagulante en el agua antes y después de ser aplicado el tratamiento.

El coagulante se obtuvo a partir de la extracción de almidón de mamey zapote, luego se le agregó hidróxido de sodio, con el objetivo de mejorar la disolución del coagulante en agua. Para la prueba de jarras se utilizó una solución madre de 0.01 mg/L del coagulante de almidón de mamey zapote y sulfato de aluminio de estos se usaron seis diferentes dosis de disolución.

El proceso fue evaluado con dos diferentes sets de velocidades de agitación. El primer set fue de un mezclado rápido de 500 RPM por un minuto y el mezclado lento de 250 RPM por diez minutos de agitación, el segundo set fue con una mezcla rápida de 100 RPM por un minuto y el mezclado lento fue de 60 RPM por diez minutos.

Para ambos casos el tiempo de sedimentación fue de diez minutos, luego del tiempo de sedimentación se procedió a determinar la turbiedad, el color y el pH de cada una de las pruebas, dichos parámetros también fueron evaluados antes de realizar la prueba de jarras.

El mayor porcentaje de remoción que se obtuvo con el coagulante de mamey fue de 74.66 %, esta se obtuvo cuando se agregó una dosis de 1.60mg/L del coagulante, agitando a 100 RPM y 60 RPM.

OBJETIVOS

General

Preparar un coagulante natural del almidón de mamey zapote, y evaluar su efectividad como coagulante para la remoción de turbiedad en agua cruda.

Específicos

1. Evaluar la efectividad del coagulante a base del mamey zapote para remover la turbiedad del agua cruda sintética.
2. Estimar, mediante la prueba de jarras, la dosis óptima necesaria para remover de forma efectiva la turbiedad del agua cruda utilizando el coagulante a base de mamey zapote.
3. Comparar la efectividad del coagulante a base de mamey zapote y la efectividad de un coagulante sulfato de aluminio para disminuir la turbiedad del agua cruda.

HIPOTESIS

Hipótesis estadística

- Hipótesis Nula

H_0 : no existe diferencia significativa en la turbiedad del agua cruda sintética al tratarla con un coagulante elaborado con mamey zapote.

- Hipótesis Alterna

H_1 : %, si existe diferencia significativa en la turbiedad del agua cruda sintética al tratarla con coagulante elaborado con mamey zapote.

INTRODUCCIÓN

Los coagulantes son sustancias químicas que ayuda a aglutinar las partículas suspendidas que existen en aguas residuales o aguas potable, mientras que los floculantes son sustancias químicas que se utilizan para inducir la desestabilización de las partículas coloidales que están suspendidas en el agua. Por lo que los coagulantes y floculantes se han usado hoy en día para tratamientos de agua, en diferentes circunstancias como lo puede ser en las industrias o para la distribución de agua potable en las ciudades.

Los coagulantes y floculantes que se usan actualmente son de forma química, pero en los últimos años como lo indica Carrasquero *et al.* (2017), se han estado presentando diferentes investigaciones para suplantar el coagulante químico con algún coagulante orgánico para poder reducir los efectos secundarios que pueden producir los coagulantes químicos y así disminuir la contaminación ambiental que se están produciendo.

La mayoría de las investigaciones que se tienen sobre coagulantes naturales son realizados de la cáscara de papa o de almidón de papa según informa Carrasquero *et al.* (2017), la cáscara de papa tuvo efectividades mayores del 97 % en la remoción de la turbiedad, logrando conseguir niveles aceptables de color y turbidez para que el agua se considere potable.

Otros estudios han demostrado que la utilización de coagulante naturales de otros frutos también pueden ayudar a disminuir la contaminación ambiental que hoy en día va en crecimiento y tal como lo indica Trujillo *et al.* (2014), que han utilizado el almidón de plátano como un floculante, porque se desarrolló una

investigación donde se usaba un coagulante químico como el sulfato de aluminio y luego aplicaban un floculante natural, en donde, al realizar esta combinación se obtuvieron mejores resultados en tratamiento de agua.

Al utilizar un coagulante y floculante natural también se podrá reducir la contaminación ambiental ya que muchas frutas y verduras son ingeridas por la humanidad y al mismo tiempo se descarta su piel, pepitas, pulpa y también muchas industrias desechan los frutos muy maduros, como lo describe Rincón y Vásquez (2016), que al realizar el estudio con cáscara de banano se pudo obtener una remoción de turbiedad del 91.84 % en aguas residuales.

Al conseguir que existan más alternativas a coagulantes naturales se podrá obtener algunas ventajas como pueden ser bajos requerimientos en la dosis de coagulante y floculante a utilizar, la reducción del aumento de la carga iónica del agua tratada, bajo costo en la economía y también los lodos que se estarían produciendo en las industrias y en las plantas de tratamientos de agua se podrán desechar fácilmente dado que serán lodos biodegradables como lo indica Guzmán *et al.* (2013).

Y por eso se quiso buscar una fruta que sea consumida y plantada en su mayoría en Guatemala, y por eso se trabajó con en mamey zapote ya que la existencia de este fruto es abundante en el territorio guatemalteco y es una fruta que se desperdicia debido a su consumo debido a que su nuez es utilizada para la elaboración de diferentes productos en diferentes industrias como lo puede ser la cosmética o la alimenticia y por lo que su pulpa es desechada sin darle un uso alguno.

1. ANTECEDENTES

A continuación, se mencionan algunos estudios que se han llevado a cabo sobre el uso de coagulantes naturales provenientes de diferentes especies de plantas:

Guatemala es uno de los países que crece en abundancia el mamey zapote y debido a la gran existencia de ellos se consideró para la investigación.

Según Solís *et al.* (2015):

P. Sapota es una planta multipropósito endémica de Mesoamérica y se ha utilizado desde el tiempo prehispánico. Su fruto, apreciado por las características de su carne, se ha utilizado con fines domésticos y artesanales en las diferentes culturas de América. Mamey el consumo de zapote genera desperdicio de gran potencial como fuente de materias primas para la producción de diferentes productos que actualmente están siendo científicamente, evaluado técnica y económicamente. Según los resultados de este trabajo, mamey's contienen aproximadamente el 30 % de las porciones de desechos. En maduros y fruta inmadura, la cáscara representa alrededor del 16 % y la piedra alrededor del 14 % de la fruta. El núcleo de la piedra o semilla es de gran interés principalmente por su lípido y composición de proteínas. La semilla tiene un alto contenido de aceite incluso en sus primeras etapas de fisiología madurez. Este aceite ha sido apreciado y utilizado en las regiones productoras de medicina tradicional y aplicaciones cosméticas, pero actualmente es comercial. En MSSO el oleico, esteárico, palmítico y los ácidos grasos linoleicos son

predominantes, como ocurre en muchas grasas y aceites vegetales de varios orígenes y son ampliamente utilizados en la industria alimentaria. El comportamiento térmico y de fase de este aceite es relativamente simple, con un amplio rango de fusión (73 ° C) y tres picos máximos de temperatura de fusión a -2.7, 13.1 y 34.4 ° C. (p. 8)

Según Bayuelo y Ochoa (2006):

El Centro-Occidente de Michoacán posee una alta variabilidad morfológica de *Pouteria sapota*, la cual se manifiesta en aspectos morfológicos del fruto (forma, tamaño, textura y aroma del mesocarpio). El análisis discriminario canónico explica la variabilidad observada entre los grupos definidos por el análisis de similitud, y determina que peso del fruto, espesor y peso del mesocarpio fueron las características morfológicas dominantes. La variabilidad observada entre grupos podría servir como criterio para seleccionar en la región, los genotipos con mayor calidad y aceptación por el consumidor y que respondan a la creciente demanda de fruto fresco y pulpa en los mercados locales, regionales e internacionales. (p.17)

Para determinar si el coagulante natural es efectivo y logra una remoción aceptable para que el agua tratada pueda ser consumida por el ser humano se trabaja por medio de pruebas de jarras.

De acuerdo con Cabrera *et al.* (2009):

La simulación del proceso de tratamiento química físico a escala de laboratorio permite determinar el tipo de coagulante, el pH y la dosis óptima a emplear para el agua residual que se utilizará en la realización de la

práctica de laboratorio. Los análisis realizados para cada coagulante utilizado en el estudio del proceso de coagulación-floculación permiten concluir que con el sulfato de alúmina a pH cercano a la neutralidad y dosis 40mg/L, se obtienen los mejores resultados. (p.73)

Actualmente se están presentando diferentes investigaciones para suplantar el coagulante químico con algún coagulante orgánico para reducir los efectos secundarios que puedan producir los coagulantes químicos utilizados actualmente y así disminuir la contaminación ambiental. Uno de los frutos utilizados comúnmente para suplantar los coagulantes químicos es la papa.

Según indica Carrasquero *et al.* (2017):

La solución coagulante de cáscaras de papa fue más efectiva en aguas de alta turbidez (200 UNT), teniendo en cuenta que para todas las dosis empleadas se obtuvieron porcentajes de remoción mayores al 97 % antes de la filtración, y superiores a 99% luego de esta operación. La mayor remoción de turbidez y color aparente se produjo al emplear una dosis óptima de 50 mg/L. Las soluciones preparadas a partir de residuos vegetales pueden ser utilizadas como coagulantes primarios durante la potabilización de aguas debido a que la combinación coagulación, floculación, sedimentación y filtración permitió generar un efluente que cumpliera con los niveles deseables de color y turbidez establecidos en la normativa venezolana sanitaria vigente. (p. 98)

Otros estudios utilizan el coagulante natural como una ayuda al utilizar un coagulante químico.

Para Trujillo *et al.* (2014):

Las observaciones realizadas durante las pruebas de jarras y los datos de turbiedad indican que el almidón de plátano utilizado es efectivo como ayudante de floculación, cuando se usa sulfato de aluminio líquido. De este modo se corrobora que el almidón de plátano es prometedor para substituir el uso de polielectrolitos comerciales y reducir así los costos de los tratamientos por coagulación/floculación. (p. 32)

De acuerdo con la información de Rincón y Vásquez (2016):

El método de remoción de plomo en el agua por medio del polvo de la cáscara de banano, es una alternativa técnicamente funcional y ambientalmente saludable en razón de que por un lado, a través de los laboratorios experimentales realizados, se puede comprobar la funcionalidad del polvo de la cáscara de banano, con una remoción promedio del 91,84% de plomo en el agua del Rio Bogotá usada para el riego de lechuga en la vereda Bosatama; por otro lado, puede llegar a remplazar los métodos tradicionales utilizados para remover metales pesados del agua, que muchas veces perjudican tanto la salud del hombre como la de la naturaleza, adicionalmente, es un material reutilizado, lo que reduce el volumen de residuos que llegan al relleno sanitario Doña Juana disminuyendo la presión de estos residuos al suelo. (p. 84)

También existen otras alternativas donde utilizan la combinación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas.

Según Riaños, Meza y Mercado (2019):

La combinación de coagulantes naturales es una alternativa para remplazar o disminuir, las sustancias químicas que se usan actualmente para clarificar las aguas, que causan daños a la salud humana, animal y la contaminación del medio ambiente. Las sustancias naturales tienen un mayor poder coagulante cuando la turbidez inicial es alta, sin embargo, con valores bajos de este parámetro todavía tienen buenos resultados. Además de su eficiencia en el proceso de clarificación del agua, el almidón de yuca no representa ningún costo para este tratamiento porque es un desperdicio del sector empresarial dedicado a la elaboración de bollos de yuca. (p. 77)

Al lograr remplazar el coagulante químico por el coagulante natural se pueden obtener algunas ventajas.

Según lo indica Guzmán *et al.* (2013):

Algunas ventajas del uso de los coagulantes naturales, en comparación con el alumbre ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), en el tratamiento del agua son: a) Bajos requerimientos en la dosis del coagulante, volumen reducido en producción de lodo, reducido aumento en la carga iónica del agua tratada y economías en el costo entre 25–30 %, b) Todos los extractos, de origen vegetal, ensayados y reportados por la literatura son eficientes en la remoción de turbidez del agua, comparados con el sulfato de aluminio, c) La adición de coagulantes naturales, como ayudas de coagulación, reducen significativamente la dosis del coagulante sulfato de aluminio, d) Los lodos producidos en el tratamiento de aguas crudas reportados por la literatura son biodegradables, e) Los almidones catiónicos son

coagulantes potenciales para remover algas comparados con los coagulantes inorgánicos. Además, requieren bajas dosis, f) Los coagulantes de taninos modificados presentan un buen rendimiento como coagulantes para la remoción de turbidez y color, comparados con el sulfato de aluminio, g) Los coagulantes orgánicos naturales (NOCs) se han caracterizado, ampliamente, por su potencial alternativa a los coagulantes metálicos en el tratamiento de agua. (p. 258)

1.1. Justificación

Se desea obtener un coagulante natural a partir del almidón del mamey zapote para proponer otro método de tratamiento del agua y también lograr disminuir la contaminación química que existe actualmente en el país, ya que al utilizar un coagulante natural se obtienen múltiples beneficios como los menciona Guzmán *et al.* (2013), la obtención de lodos biodegradables, la reducción de corrosión en las tuberías, los desechos de lodos no serán perjudiciales a la salud humana, ni al medio ambiente.

Se utilizará el mamey zapote debido a que es un producto que se da en abundancia en la región de Guatemala y que se produce en la mayoría del territorio guatemalteco más en las zonas tropicales.

1.2. Determinación del problema

Existe la necesidad de tener otros medios para reducir la contaminación que pueden llegar a provocar los coagulantes químicos en el agua residual y los problemas que pueden provocar al usarlos en las industrias como tratamiento de agua.

El coagulante natural producido a través del almidón de mamey zapote es una opción para tratar de reducir la contaminación que provocan algunos coagulantes químicos en el agua y en el medio ambiente.

En esta investigación se evaluó la efectividad del almidón obtenido del mamey zapote para remover la turbiedad del agua. También se evaluó si el uso de este coagulante provocaba cambio en el color del agua.

1.3. Delimitación

Evaluar la efectividad del coagulante a base de mamey zapote, en el tratamiento de agua cruda sintética, determinando la remoción de turbiedad y color, mediante la prueba de jarras.

2. MARCO TEORICO

2.1. Coagulación

Según Aguilar et al. (2002) “la coagulación es el proceso por el que los componentes de una suspensión o disolución estable son desestabilizados por superación de las fuerzas que mantienen su estabilidad” (p.35).

La coagulación según Barrenechea (2004):

Es la neutralización que se realiza a través de cargas eléctricas en los coloides, en donde, se realiza la anulación de las fuerzas que generan los coloides. La neutralización a través de la coagulación se realiza por medio de agregar agua a determinadas sales. (p.154)

En su artículo publicó Lorenzo (2006):

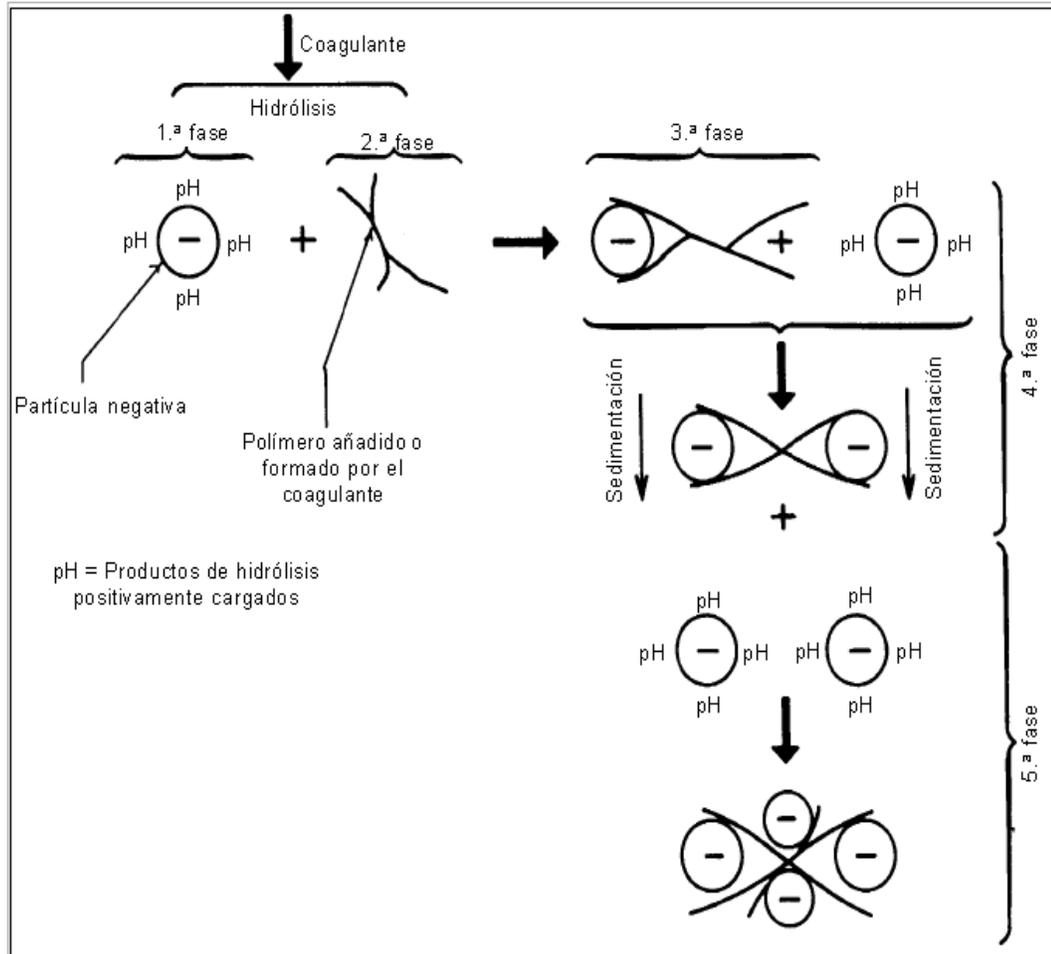
La coagulación y floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los microflóculos, ésta debería estar clara; si esto no ocurre, lo más probable es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más. (p.11)

2.1.1. Cinética o etapas de la coagulación

El proceso de coagulación es, según el capítulo 4 de Barrenechea (2004):

- Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
- Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfaz de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de estas y las interacciones químicas.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de estas mismas y las fuerzas de Van der Waals.
- Formación de los flóculos.
- Precipitación del hidróxido metálico. (p.195)

Figura 1. **Modelo esquemático del proceso de coagulación**



Fuente: Gómez, Guerra, Dita, Fernández y Cabrera. (2011). *Teoría celular de la coagulación: de las cascadas a las membranas celulares*. Consultado el 25 de septiembre del 2021.

Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2011000200011)

897X2011000200011.

2.1.2. Coagulantes utilizados

Los coagulantes más utilizados en las industrias para tratamiento de aguas son para Spellman (2008):

- “Sulfato de aluminio.
- Aluminato de sodio.
- Cloruro de aluminio.
- Cloruro Férrico.
- Sulfato Férrico.
- Sulfato Ferroso.
- Polielectrolitos (como ayudantes de floculación)” (p.142).

2.1.3. La dosis del coagulante

A continuación, se presentan las formas adecuadas de dosificar el coagulante según Aguilar (2002):

- Al agregar una pequeña cantidad del coagulante a utilizar, no se logrará neutralizar por completo el agua, lo que ocasionaría una turbiedad residual elevada.
- Al agregar altas cantidades de coagulante se producen sedimentaciones muy bajas, lo que ocasionaría una turbiedad elevada.
- Para determinar correctamente la cantidad de coagulante a utilizar es necesario el ensayo de prueba de jarras. (p. 50)

2.1.4. Factores que influyen en la coagulación

Son diversos factores que pueden influir en un proceso de coagulación, los más importantes y los que tienden a influir más son los siguientes:

2.1.4.1. El pH

Es una de las variables más importantes a la hora de medir el rendimiento del coagulante a utilizar teniendo en cuenta que para cada tipo de agua existe un diferente tipo de pH, debido a que si la coagulación se realiza fuera de un rango diferente del pH óptimo lo que se tiene que hacer es aumentar la cantidad del coagulante por lo que la dosis requerida será alta. (Sawyer y Perry, 1967, p.314)

pH óptimo para una coagulación química: el pH de un agua es de gran importancia para gobernar tanto la naturaleza del producto de hidrólisis del metal coagulante como la carga de las impurezas coloidales. El pH óptimo para remoción de coloides negativos varía con la naturaleza del agua, pero usualmente cae en el rango de pH de 5 a 6.5. La alcalinidad residual sirve para amortiguar el sistema a niveles de pH superiores a 5 y asegura esencialmente una precipitación completa de los iones coagulantes. (Sawyer y Perry, 1967, p. 344)

2.1.4.2. La temperatura del agua

Según Sawyer y Perry (1967):

La temperatura del agua una vez que al subir un grado Celsius de temperatura tiende a variar la densidad del agua por lo que afecta la energía

cinética de las partículas en suspensión, al aumentar la temperatura se estaría ocasionando una coagulación más lenta (p. 344).

2.2. Floculación

La floculación es la unión de las partículas que se crean a partir del mezclado lento que se realiza en un proceso de tratamiento de aguas, la floculación según Aguilar *et al.* (2002), también permite el aumento de tamaño de las partículas de floculo por lo que tiende a aumentar el peso del floculo.

Según Aguilar *et al.* (2002):

Pueden existir dos tipos de floculación:

- Floculación pericinética: producido por el movimiento browniano.
- Floculación ortocinética: se realiza por las colisiones que se ocasionan dentro del agua, el cual se produce por movimientos externos del agua, por alguna maquinaria ya sea de forma hidráulica o mecánica (p. 35).

2.2.1. Parámetros de la floculación

Algunos de los parámetros que se pueden caracterizar de la floculación pueden ser según Andía (2000):

- “Floculación ortocinética
- El cambio de velocidad o gradiente de velocidad
- La cantidad de colisiones que se puede tener entre los microfóliculos
- Tiempo de retención

- Densidad del agua y el tamaño del floc.
- Cantidad de lodos obtenidos” (p. 34).

2.3. Coagulantes orgánicos

Según el artículo de Guzmán *et al.* (2013):

Son producidos de manera espontánea por productos naturales como pueden ser las plantas, de productos animales, que tienden a tener una mínima toxicidad o casi nula, por lo general son productos con altos contenidos de carbohidratos y proteínas solubles en agua. Algunos productos tienden a contener propiedades de efecto coagulante o de efecto floculante, produciendo una sedimentación y reduciendo la turbidez del agua a tratar.

Algunos materiales utilizados como coagulantes naturales pueden ser: de extractos naturales que se derivan de semillas, hojas, cortezas o savias, frutas y de plantas. (p. 254)

2.4. Prueba de jarras

Según Andía (2000):

Es un método de simulación de los procesos de coagulación y floculación, realizado a nivel laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultados valores de turbiedad diferentes. (p. 38)

Según Andía (2000):

Con el objetivo de determinar las variables físicas y químicas de los procesos de coagulación; floculación y sedimentación; tales como: selección del pH óptimo, gradientes y tiempo de mezcla rápida y floculación y correlación de las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción. (p. 39)

2.5. Turbiedad

Según Sawyer y Perry (1967):

Plantean que la turbiedad en el agua se atribuye a la presencia de partículas en suspensión como lo puede ser las arcillas, minerales, sedimentos, materias orgánicas como inorgánicas. Los diámetros que regularmente tienen las partículas de suspensión estudiadas varían entre 0.2 a 0.5 μ m, cuando las partículas tienden a mantenerse en dicho rango es muy fácil realizar la coagulación ya se ha estudiado que al mantener dichos diámetros en las partículas el pH se mantendría constante, en donde, se puede determinar lo siguiente:

- Cuando se tiene una cantidad de turbiedad mayor a la establecida a los diámetros mencionados anteriormente, la cantidad de coagulante a agregar deberá ser un poco más al establecido en el inciso anterior dado que si se le tiende a agregar mas no se realizará una correcta coagulación.
- Al tener una turbiedad muy elevada, el primer paso que se debería de realizar es una pre-sedimentación.

- Es más sencillo coagular aguas que tienen baja turbiedad, en vista de que se requerirá un porcentaje mayor de coagulante al comparar con aquella que la turbiedad es mayor a la establecida. (p. 290)

2.5.1. Técnicas tribidimétricas de medición

Las técnicas turbidimétricas de medición mencionadas según Acebo y Hernández (2013):

La turbidez se mide utilizando las técnicas de turbidimetría o nefelometría. La relación directa entre los datos de turbidez y la concentración de sólidos suspendidos depende de muchos factores, entre los cuales se incluye el tamaño de las partículas, la forma, la distribución y el estado de la superficie, índice de refracción de las partículas de dispersión y de la longitud de onda de la luz utilizada. Hay tres diseños básicos de medidores de turbidez.

- El nefelómetro cuantifica la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo análisis.
- El turbidímetro que revela la tasa o relación de intensidades luminosas mide tanto la transmisión de la intensidad de la luz como su dispersión. (p. 5)

2.5.2. Significado sanitario de la turbiedad

El significado sanitario de la turbiedad se define de la siguiente manera según Sawyer y Perry (1967):

La turbiedad es un parámetro que nos permite categorizar como es que se encuentra el agua que se va a tomar o la que se va a usar, por eso es importante usar este factor para el abastecimiento público por lo tanto se tiende a categorizar de la siguiente manera:

- Estético: será un parámetro que tendera a observar el consumidor del agua, dado que si se tuviera el agua turbia pensarían que el agua está en malas condiciones o el tratamiento que se le implemento no fue el adecuado.
- Filtrabilidad: es un proceso necesario que se hace más difícil y costoso de realizar cuando se tienen altos valores de turbiedad, en donde, en este proceso se necesita de los valores de turbiedad para determinar que filtro se utilizara para garantizar la mejor remoción de turbiedad y así tener un tratamiento adecuado
- Desinfección: este proceso es de vital importancia considerando que se suministrará a los hogares y personas agua libre de cualquier microorganismo, patógenos y otras bacterias que pueda contener el agua antes de ser desinfectada, ya que una adecuada desinfección se estaría realizando por medio de cloro u ozono.
(p. 291)

2.6. Almidón

Es un polímero de condensación de glucosa en proporciones de átomos de carbono, hidrogeno y oxigeno el cual están presente para granular en semillas, tubérculos y raíces, el cual no es un producto uniforme.

2.6.1. Características básicas del almidón

Según Castells (2009):

El almidón es un hidrato de carbono complejo (polisacárido) digerible, del grupo de los glucanos. Consta de cadenas de glucosa con estructura lineal (amilosa) o ramificada (amilopectina). Constituye la reserva energética de los vegetales. En la cocina se considera un hidrocoloide: tiene la capacidad de atrapar agua, lo que provoca la formación de geles, o de espesar un líquido o un producto licuado. La amilasa y la amilopectina son polisacáridos que el organismo puede degradar (digerir), mediante las enzimas amilasa y glucosidasa presentes en la saliva y el jugo pancreático. (p. 41)

Según Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1998):

Una de las características físicas de mayor funcionalidad del almidón es su forma y superficie, teniendo en cuenta que suelen utilizarse para resaltar sabores y formar condimentos, las características físicas mencionadas anteriormente suelen obtenerse de la proporción entre la amilasa y amilopectina de los almidones. Donde ambos contienen polímeros diferentes, que le da al almidón una importancia fundamental, como suele ser: la viscosidad, la resistencia al corte, la gelatinización, las texturas, la solubilidad, pegajosidad, la estabilidad del gel, la hinchabilidad por frío y la retrogradación dependen de la relación amilasa/amilopectina. (p. 10)

2.7. Prueba de identificación

Para realizar la prueba de identificación del almidón, se realizará agregando una solución de yodo de 2 %, a la solución de agua con el almidón del fruto deseado, luego la mezcla del agua con almidón y la solución de yodo al 2 %, tenderá a cambiar de color ya sea azul o morado.

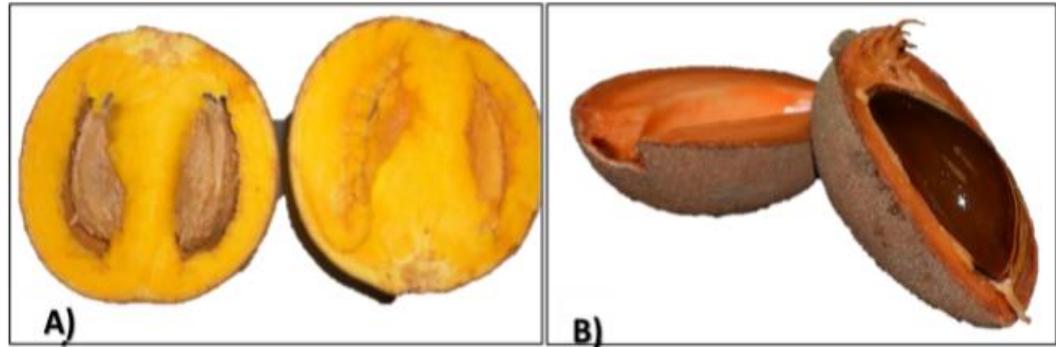
- Si llegara haber un cambio de color ya sea de azul o morado es porque contiene almidón.
- Si el color es amarillo es porque no existe almidón en la prueba.

2.8. Mamey zapote

Según Velázquez *et al.* (2015):

Pouteria sapota, pertenece a la familia de los sapotaseas, conocido como mamey-zapote que se originó de una confusión con el fruto del mamey (*Mammea americana L.*) dado que la capa externa de ambos frutos se parece, pero el color interno del mamey es amarillo y el del zapote es rojo, en varias tonalidades. (p.56)

Figura 2. **Diferencias de mamey amaricana L. y Pouteria sapota**



Fuente: Velázquez, Alvarado y Reyes (2015). *Historia del mamey Pouteria sapota*. Consultado el 25 de septiembre del 2021. Recuperado de <http://www.reibci.org/publicados/2015/mayo/0500121.pdf>.

3. DISEÑO METODOLOGICO

3.1. Variables

Para el desarrollo del experimento se determinaron tres tipos de variables físicas que son las siguientes:

- Turbidez
- pH
- Concentración

Tabla I. **Variables del procedimiento experimental**

Variable	Unidad	Tipo de variable	
		Independiente	Dependiente
Turbidez del agua	NTU		x
Ph			x
Concentración	mg/L	x	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

3.2. Delimitación de campo de estudio

La investigación consistió en la elaboración a nivel de laboratorio de coagulante natural a partir del almidón de la pulpa del mamey zapote, determinando la concentración óptima de coagulante para eliminar la mayor cantidad de turbidez.

3.3. Etapas de la investigación

La investigación tiene diferentes etapas, estas se detallan en seguida, para tener conocimiento de ellas.

- Obtención de la materia prima
- Obtención del almidón a través de la materia prima
- Evaluación de diferentes concentraciones de coagulante mediante la prueba de jarras.

3.4. Ubicación del desarrollo de la investigación

Laboratorio de Fisicoquímica, ubicado en el tercer nivel del edificio T-5 de la Facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, ubicado en el segundo nivel del edificio T-5 de la Facultad de ingeniería química de la universidad de San Carlos de Guatemala.

3.5. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Br. Gabriela Jazmín Rubí Lainez González
- Asesorado: Inga. Qca. Ana Rufina Herrera.

3.6. Recursos materiales disponibles

Se requerirán para la metodología los siguientes equipos:

- Cristalería

- Reactivos

3.6.1. Equipo

- Turbidímetro
- Potenciómetro
- Colorímetro
- Termómetro
- Procesador de alimentos
- Manta

3.6.2. Cristalería

- Vasos de precipitar
- Jeringas
- Probeta
- Beaker
- Pipeta
- Varilla de agitación
- Balón

3.6.3. Reactivos

- Sulfato de aluminio al 1 %
- Almidón de mamey zapote
- Caolín
- Solución de yodo en yoduro 0.001 M
- Hidróxido de sodio

3.7. Técnica cualitativa o cuantitativa

Para determinar la efectividad del coagulante mamey zapote, la dosis óptima del almidón de mamey zapote y sulfato de aluminio y poder comparar que tipo de coagulante es el que mejor tuvo efecto se realizaron las pruebas con los siguientes procedimientos.

3.7.1. Metodología experimental para la elaboración de la gelatinización de almidón de mamey zapote

- Quitar la pulpa del mamey zapote y pesar
- Obtener la pulpa fina con el procesador
- Colocar en un *beacker* la pulpa y el líquido que haya quedado en el procesador.
- Agregar un volumen igual de agua y agitar.
- Filtrar la pulpa con la manta y recuperar el filtro en un *beacker*. Exprimir bien la manta.
- Permitir que el almidón se asiente y decantar el líquido sobrante.
- Lavar dos veces más con agua y decantar.
- Secarlo y pesarlo.
- Después de haber obtenido el almidón pesar 0.05 g hidróxido de sodio (NaOH).
- Diluir en 20 mL de agua el NaOH y diluir el almidón seco en 30 mL
- Agitar bien la mezcla de almidón y NaOH hasta que este homogenizado.

3.7.2. Prueba de almidón de mamey zapote

- Colocar una un gramo del sólido recolectado de almidón del mamey zapote.

- Agregar al sólido un mililitro de yodo.
- Observar el resultado que haya cambiado a una coloración violeta.

Figura 3. **Obtención del almidón de mamey zapote**



Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 4. **Prueba para identificar presencia de almidón de mamey**



Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

3.7.3. Metodología experimental para preparar el agua cruda sintética

- Pesar los gramos de caolín en una balanza digital
- Colocar seis litros de agua de grifo en un recipiente
- Agregar el caolín al agua y mezclar por un aproximado de cinco minutos hasta obtener una mezcla homogénea.
- Se debe tomar una muestra del agua preparada y medir la turbiedad y el color.

3.7.4. Primera parte de la metodología para verificar si el coagulante reduce la turbiedad del agua

- Tomar una muestra del agua cruda sintética y determinarle la temperatura, la turbiedad inicial, el color inicial y pH.
- Llenar las 6 jarras de dos litros con agua de la muestra y colocarlas en el aparato de agitación.
- Poner el equipo de jarras a funcionar a 100 RPM durante un minuto.
- Agregar un gramo de coagulante de almidón de mamey a cada una de las jarras.
- Al finalizar el minuto reducir la velocidad. De agitación a 60 RPM, y continuar agitando por 10 minutos.
- Una vez concluido los 10 minutos dejar los flóculos sedimentados sedimentar por 10 minutos.

- Tomar una muestra de cada jarra y medir la turbiedad final, el color, y pH.

3.7.5. Metodología dosis óptima para el coagulante a partir del almidón de mamey zapote

- Tomar una muestra del agua cruda sintética y determinarle la temperatura, la turbiedad inicial, el color inicial y pH.
- Llenar las 6 jarras de dos litros con agua de la muestra y colocarlas en el aparato de agitación.
- Poner el equipo de jarras a funcionar a 100RPM durante un minuto.
- Agregar a cada jarra las siguientes proporciones de almidón.

Tabla II. Proporciones a las que se trabajo

Coagulante almidón de mamey zapote (mL)
2.00
1.60
1.20
1.00
0.60
0.40

Fuente: Álvarez y Aguilar (2017). *Uso de la semilla de tamarindo (Tamarindus Indica) como coagulante orgánico para la remoción de turbiedad y color en el agua para potabilización.*

- Al finalizar el minuto reducir la velocidad. De agitación a 60 RPM, y continuar agitando por 10 minutos.

- Una vez concluido los 10 minutos dejar los flóculos sedimentados sedimentar por 10 minutos.
- Tomar una muestra de cada jarra y medir la turbiedad final, el color, y pH.

3.7.6. Metodología sulfato de aluminio

- Tomar una muestra del agua cruda sintética y determinarle la temperatura, la turbiedad inicial, el color inicial y pH.
- Llenar las 6 jarras de dos litros con agua de la muestra y colocarlas en el aparato de agitación.
- Poner el equipo de jarras a funcionar a 100RPM durante un minuto.
- Agregar a cada jarra las siguientes proporciones de sulfato de aluminio.

Tabla III. **Proporciones a las que se trabajó la dosis de $Al_2(SO_4)$**

Dosis de Sulfato de Aluminio (mL)
2.00
1.60
1.20
1.00
0.60
0.40

Fuente: Álvarez y Aguilar (2017). *Uso de la semilla de tamarindo (Tamarindus Indica) como coagulante orgánico para la remoción de turbiedad y color en el agua para potabilización.*

- Al finalizar el minuto reducir la velocidad. De agitación a 60 RPM, y continuar agitando por 10 minutos.

- Una vez concluido los 10 minutos dejar los flóculos sedimentados sedimentar por 10 minutos.
- Tomar una muestra de cada jarra y medir la turbiedad final, el color, y pH

3.7.7. Metodología dosis óptima para el coagulante a partir del almidón de mamey zapote

- Tomar una muestra del agua cruda sintética y determinarle la temperatura, la turbiedad inicial, el color inicial y pH.
- Llenar las 6 jarras de dos litros con agua de la muestra y colocarlas en el aparato de agitación.
- Poner el equipo de jarras a funcionar a 500RPM durante un minuto.
- Agregar a cada jarra las siguientes proporciones de almidón.

Tabla IV. **Proporciones a las que se trabajó el almidón de mamey**

t
2.00
1.60
1.20
1.00
0.60
0.40

Fuente: Álvarez y Aguilar (2017). *Uso de la semilla de tamarindo (Tamarindus Indica) como coagulante orgánico para la remoción de turbiedad y color en el agua para potabilización.*

- Al finalizar el minuto reducir la velocidad. De agitación a 250 RPM, y continuar agitando por 10 minutos.
- Una vez concluido los 10 minutos dejar los flóculos sedimentados sedimentar por 10 minutos.
- Tomar una muestra de cada jarra y medir la turbiedad final, el color, y pH.

3.7.8. Metodología sulfato de aluminio

- Tomar una muestra del agua cruda sintética y determinarle la temperatura, la turbiedad inicial, el color inicial y pH.
- Llenar las 6 jarras de dos litros con agua de la muestra y colocarlas en el aparato de agitación.
- Poner el equipo de jarras a funcionar a 500 RPM durante un minuto.
- Agregar a cada jarra las siguientes proporciones de sulfato de aluminio.

Tabla V. **Proporciones a las que se trabajó el $Al_2(SO_4)$**

Dosis de Sulfato de Aluminio (mL)
2.00
1.60
1.20
1.00
0.60
0.40

Fuente: Álvarez y Aguilar. (2017). *Uso de la semilla de tamarindo (Tamarindus Indica) como coagulante orgánico para la remoción de turbiedad y color en el agua para potabilización.*

- Al finalizar el minuto reducir la velocidad. De agitación a 250 RPM, y continuar agitando por 10 minutos.
- Una vez concluido los 10 minutos dejar los flóculos sedimentados sedimentar por 10 minutos.
- Tomar una muestra de cada jarra y medir la turbiedad final, el color, y pH.

3.8. Recolección y ordenamiento de la información

En el presente estudio se recolectaron y obtuvieron los datos obtenidos en el estudio los cuales comprenden: la efectividad del coagulante mamey zapote, la evaluación de la dosis óptima del coagulante y la comparación del coagulante natural contra uno químico.

Tabla VI. Verificación de la efectividad del coagulante orgánico

Concentración del sulfato de aluminio	Cantidad a agregar de la concentración del Sulfato de aluminio (mL)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Color inicial (PCU)	Color final (PCU)
0.01 mg/L	0.4	90.4	8.62	90	10
		103	8.7	110	11
		113	5.97	110	13
	0.6	95.2	7.11	60	14
		88.8	8.27	60	17
		90.4	5.76	80	10
	1	98.3	7.81	140	18
		98.9	7.9	140	8
		100	9.24	140	2.5
	1.2	103	9.14	60	0
		103	6.32	110	8
		100	6.35	90	12

Continuación de la tabla VI.

	1.6	100	5.81	120	15
		96	4.96	140	14
		103	8.53	100	12
	2	99.2	7.13	100	0
		100	6.59	70	0
		105	5.54	130	5

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Tabla VII. **Evaluación de la dosis óptima del coagulante natural**

Concentración del Mamey Zapote	Cantidad para agregar de la concentración del mamey de zapote (mL)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Color inicial (PCU)	Color final (PCU)
0.167 mg/L	0.4	63.9	31	80	60
		58.1	29	60	40
		54.4	27.7	110	50
	0.6	75.4	28.7	140	60
		83.1	28.5	140	70
		89.1	32.4	100	90
	1	80.1	40.2	130	90
		89	35.4	150	110
		58.1	41.4	140	120
	1.2	85.9	36.9	130	80
		95	29.8	100	70
		103	30.3	180	110
	1.6	91.4	32.9	70	90
		109	42.6	110	60
		105	32	100	20
	2	104	30.8	90	20
		103	29.7	100	30
		78.5	42.9	120	80

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Tabla VIII. Evaluación de la dosis óptima del sulfato de aluminio

Concentración del sulfato de aluminio	Cantidad a agregar de la concentración del sulfato de aluminio (mL)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Color inicial (PCU)	Color final (PCU)
0.01 mg/L	0.4	91.6	5.85	130	5
		100	6.93	140	4
		101	4.71	70	5
	0.6	65.1	4.82	110	4
		49.2	6.39	80	7
		74.5	5.3	90	4
	1	85.3	6.76	90	12
		96.2	9.84	100	16
		95.8	5.15	70	5
	1.2	88.1	2.47	50	0
		96.9	3.77	80	1
		89.4	3.45	150	7
	1.6	107	4.19	140	6
		98.4	2.71	120	2
		98.2	2.8	150	2
	2	98.9	3.21	110	6
		94.6	2.48	80	1
		98.9	3.14	100	3

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

3.9. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se ordenados, tabularon y se procesó la información de variables que se utilizaron para determinar si fue efectivo el coagulante utilizado, y si las dosis óptimas usadas fueron las correctas.

Tabla IX. **Promedio de las variables del coagulante natural**

Concentración del coagulante de mamey sapote	$\underline{X_{Ti}}$	$\underline{X_{Tf}}$	$\underline{X_{Color,i}}$	$\underline{X_{color,f}}$
C1	100.67	33.1	136.67	66.67
C2	82.27	38	113.33	70
C3	95.3	39.97	136.67	75.67
C4	93.8	33.57	106.67	33.33
C5	95.03	43.7	123.33	60
C6	95.23	42.03	100	70

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Tabla X. **Desviación estándar de las variables del coagulante natural**

Concentración del coagulante de mamey sapote	Turbiedad inicial	Turbiedad final	Color entrada	Color Salida
C1	50.33	3.88	433.33	133.33
C2	495.06	4.87	33.33	700
C3	12.13	7.54	233.33	836.33
C4	33.67	3.06	133.33	133.33
C5	1.82	9.39	2133.33	100
C6	43.56	10.25	300	0

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Tabla XI. **Promedio de la evaluación de la dosis óptima del coagulante**

Cantidad del coagulante de mamey sapote (mL)	$\underline{X_{T,combo 1}}$	$\underline{X_{T,combo 2}}$
0.40	53.19	50.22
0.60	46.97	63.76
1.00	59.52	46.26
1.20	46.66	65.42
1.60	23.07	64.82
2.00	43.67	62.30

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Tabla XII. **Promedio de la evaluación de la dosis óptima del coagulante**

Cantidad del coagulante de mamey sapote (g)	$X_{T,combo 1}$	$X_{T,combo 2}$
0.40	94.01	92.24
0.60	90.83	92.28
1.00	92.16	91.61
1.20	96.48	92.88
1.60	96.83	93.58
2.00	96.99	93.65

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Tabla XIII. **Desviación estándar de la evaluación de la dosis óptima**

Cantidad del coagulante de mamey sapote (g)	Turbiedad inicial	Turbiedad final	Color entrada	Color Salida
2.00	50.33	3.88	433.33	133.33
1.60	495.06	4.87	33.33	700
1.40	12.13	7.54	233.33	836.33
1.00	33.67	3.06	133.33	133.33
0.60	1.82	9.39	2133.33	100
0.40	43.56	10.25	300	0

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Tabla XIV. **Desviación estándar de la evaluación de la dosis optima**

Cantidad del coagulante de sulfato de aluminio (g)	Turbiedad inicial	Turbiedad final	Color entrada	Color Salida
0.40	128.25	2.41	133.33	2.33
0.60	11.09	1.58	133.33	12.33
1.00	0.74	0.64	0.00	61.75
1.20	3.00	2.62	633.33	37.33
1.60	12.33	3.48	400.00	2.33
2.00	9.88	0.65	900.00	8.33

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

3.10. Análisis estadístico

En el análisis estadístico se realizó la comparación de medias apareadas, ANDEVA de un factor, prueba de turkey y comparación de medias independientes, el cual se describe en la tabla XV.

Tabla XV. Descripción del análisis estadístico

Objetivo específico	Descripción	Análisis estadístico	HO	H1
1	Efectividad del coagulante del mamey zapote	comparaciones medias apareadas	$\mu_{To} = \mu_{Tf}$	$\mu_{To} \neq \mu_{Tf}$
2	Dosis optima de coagulante mamey zapote	ANDEVA	$\mu_{C1} = \mu_{C2} = \mu_{C3}$	$\mu_{C1} \neq \mu_{C2} \neq \mu_{C3}$
2	Dosis optima de coagulante mamey zapote	Prueba de Turkey	No aplica	No aplica
3	Comparación coagulante de zapote vs. Sulfato de aluminio	ANDEVA de dos factores	$\mu_z = \mu_{Al}$	$\mu_z \neq \mu_{Al}$

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

3.10.1. Diseño estadístico

Se describe la forma en la que se utilizaron las variables colocadas en cada etapa de la recolección de datos, en el ordenamiento y en la toma de decisión para presentar resultados confiables dentro de la investigación.

Tabla XVI. **Relación entre variables**

FACTORES	Concentración del almidón de mamey zapote	NÚMERO DE FACTORES	1
NIVELES	C1, C2, C3, C4, C5 Y C6	NÚMERO DE NIVELES	6
NÚMERO DE TRATAMIENTOS	6*1=6		
NÚMERO DE REPTICIONES	3		
6*3=18 unidades experimentales			

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

3.10.2. Plan de análisis de los resultados

Se describen los resultados obtenidos durante el proceso de la elaboración de la tesis, dividiendo en cada tabla por el tipo de coagulante utilizado y la función para la que se utilizó cada dato obtenido.

3.10.2.1. Comparación del promedio de dos muestras apareadas

A continuación, se presenta la comparación del promedio de dos muestras apareadas.

$$t_0 = \frac{D_0}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}} \quad \begin{array}{l} \text{[Ecuación SEQ Ec} \\ \text{* ARABIC 1]} \end{array}$$

Donde:

t_0 = la probabilidad de ocurrencia en la tabla de distribución t de Student con n-1 grados de libertad.

\underline{D} = es la diferencia promedio entre las parejas de datos.

S_D = es la desviación estándar de las diferencias entre las parejas de datos.

n = es el tamaño de la muestra (número de parejas de datos).

3.10.2.2. Datos para realizar la ANDEVA

Se describen cada uno de los datos que se utilizaron para determinar el análisis entre las medias para obtener el promedio de diferentes grupos, se utilizó para la comparación de la efectividad de los dos tipos de coagulantes usados.

3.10.2.2.1. Media aritmética

La siguiente ecuación es la que se utilizar para calcular la media aritmética.

$$\underline{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \underline{x})^2}{N}$$

[Ecuación SEQ Ecuación
 * ARABIC 2]

Dónde:

\underline{x} = media aritmética

$\sum_{i=1}^n (x_i - \underline{x})^2$ = sumatoria de valores

x_i = valor de la muestra

\underline{x} =media aritmética

N = número de datos.

3.10.2.2.2. Desviación estándar

La siguiente ecuación es la que se utilizar para calcular la desviación estándar.

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

[Ecuación SEQ Ecuación \
* ARABIC 3]

Donde:

σ = desviación estándar

x_i = valor de la muestra

\bar{x} =media aritmética

N= número de datos

3.10.2.2.3. Coeficiente de variación

Con la siguiente ecuación después de haber obtenido la media aritmética y la desviación estándar se calcula el coeficiente de variación.

$$C_v = \frac{\sigma}{|\bar{x}|}$$

[Ecuación SEQ Ecuación \
* ARABIC 4]

Donde:

C_v = coeficiente de variación

σ = desviación estándar

$|\bar{x}|$ = media aritmética.

3.10.2.2.4. Suma total de cuadrados

Después de obtener el coeficiente de variación se procede a calcular la sumatoria de cuadrados.

$$SST = \sum_{ij} (y_{ij} - \underline{y}_i)^2$$

[Ecuación SEQ Ecuación \ * ARABIC 5]

Donde:

SST= suma total de cuadrados

y_{ij} = tratamientos

\underline{y}_i = media de tratamientos

3.10.2.2.5. Suma de cuadrados por error

También se deben calcular las sumas de los cuadrados por error.

$$SSE = \sum_{ij} (y_{ij} - \underline{y})^2$$

[Ecuación SEQ Ecuación \ * ARABIC 6]

Donde:

SSE= suma de cuadrados por error.

y_{ij} = tratamientos

\underline{y} = media de tratamientos

Tabla XVII. **Tabla de análisis de varianza**

Fuente	SS	Df	MS	F
Tratamiento	SST	t-1	MST	MST/MSE
Error	SSE	N-t	MSE	
Total	TSS	N-1		

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

3.10.2.2.6. Cuadrado promedio por tratamiento

Ahora se procede a calcular los cuadrados promedio por tratamiento con la siguiente ecuación.

$$MST = \frac{SST}{t - 1} \quad [Ecuación SEQ Ecuación \backslash* ARABIC 7]$$

Donde:

MST= cuadro promedio por tratamientos

SST= suma total de cuadrados.

3.10.2.3. Método de Turkey

El método de Turkey es un método que tiene como fin comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras sometidas a tratamientos distintos.

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(k, N - k) \sqrt{\frac{CM_E}{n_i}}$$

Donde:

CM_E = cuadrado medio del error.

n_i = número de observaciones por tratamientos.

k = número de tratamientos.

$N - k$ = grados de libertad.

Tabla XVIII. **Aplicación de la prueba muestral de turkey**

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	1.25 < 3.27	No significativa
$\mu_A - \mu_C$	*5.50 > 3.27	Significativa
$\mu_A - \mu_D$	3.25 > 3.27	No significativa
$\mu_B - \mu_C$	*4.25 > 3.27	Significativa
$\mu_B - \mu_D$	2.00 < 3.27	No significativa
$\mu_C - \mu_D$	2.25 < 3.27	No significativa

Fuente: Gutiérrez y De La Vara. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*.

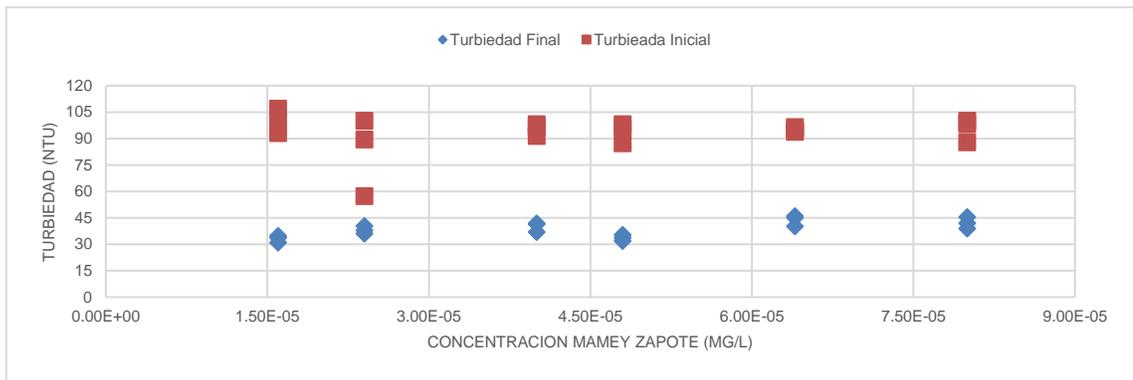
3.10.3. Programas a utilizar para análisis de datos

A continuación, se describen los programas que se utilizaron para el análisis de datos, cálculos de datos y gráficas de los datos obtenidos durante la elaboración de la tesis.

- Minitab
- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- InfoStat

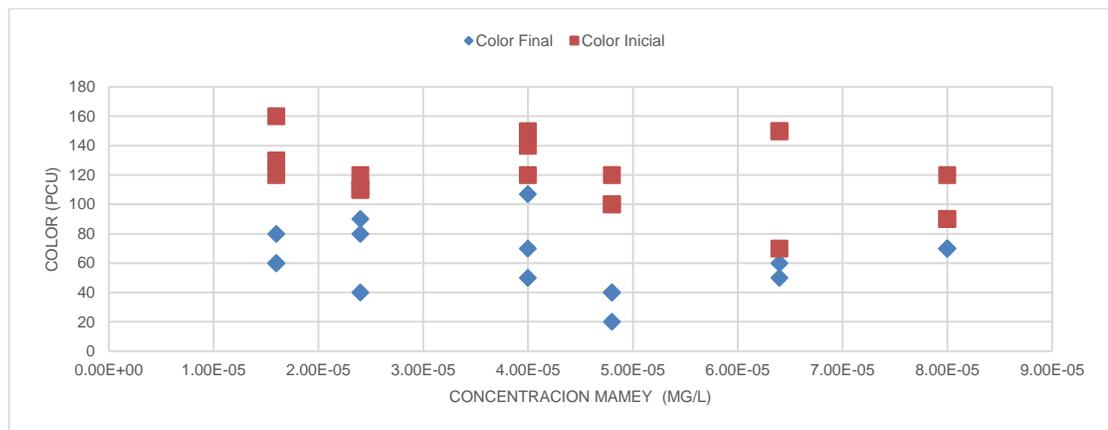
4. RESULTADOS

Figura 5. **Turbiedad del coagulante natural mezclas de 500 a 250 RPM**



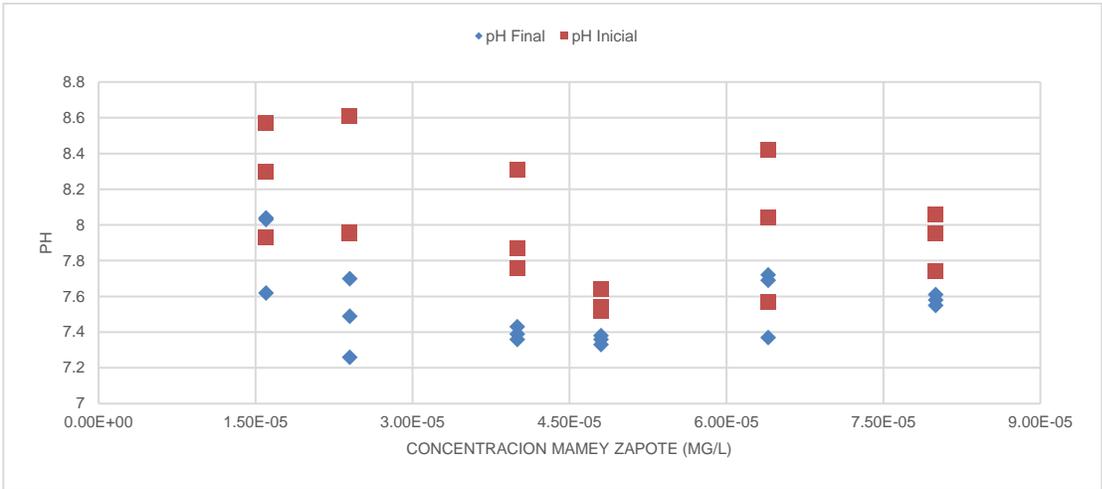
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 6. **Color inicial y final del coagulante natural mezclas (500 a 250 RPM)**



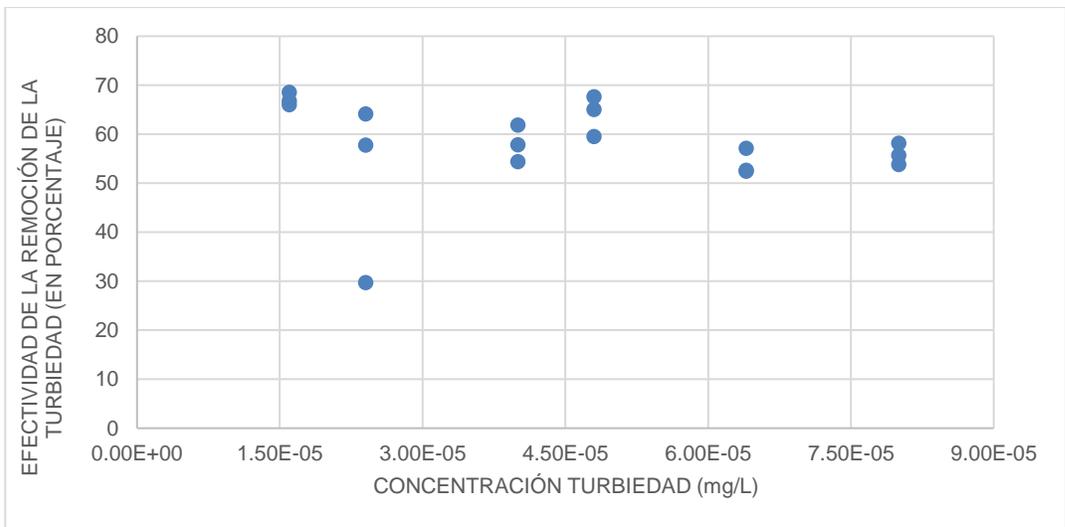
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 7. **pH en función del coagulante natural mezcla 500 a 250 RPM**



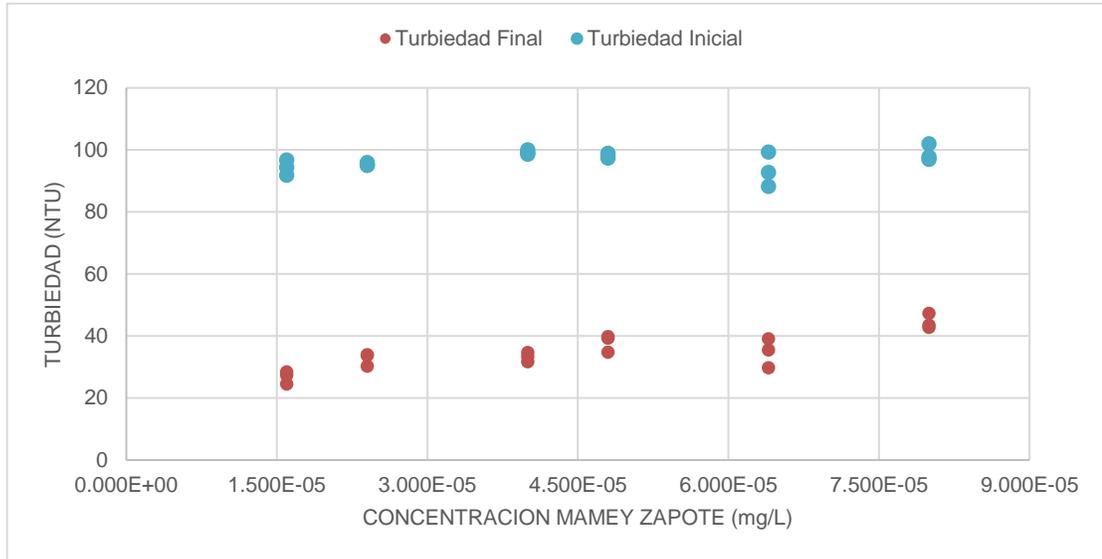
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 8. **Efectividad la turbiedad de coagulante natural mezcla 500-250 RPM**



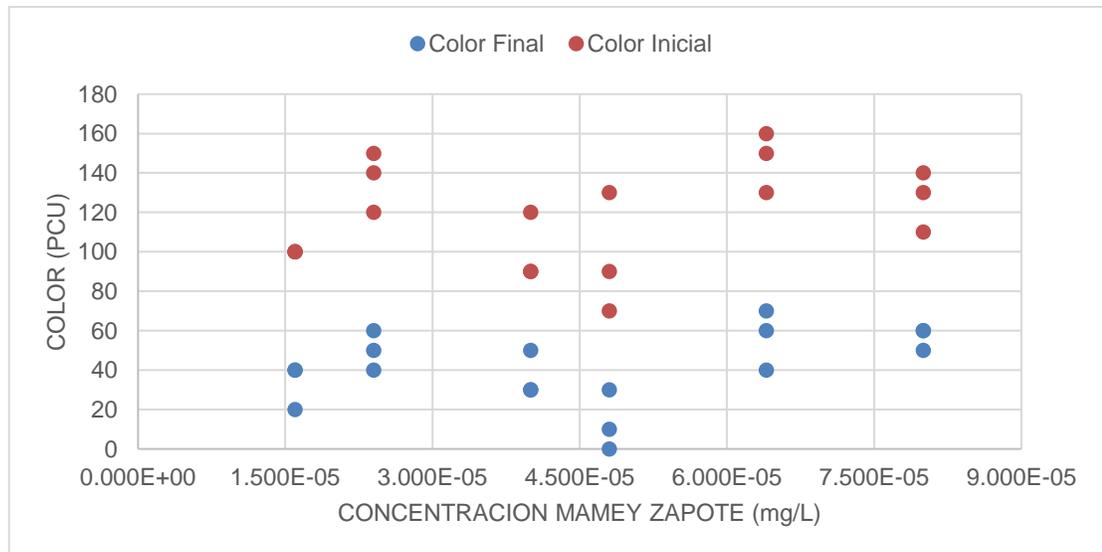
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 9. **Turbiedad del coagulante natural mezcla 100 a 60 RPM**



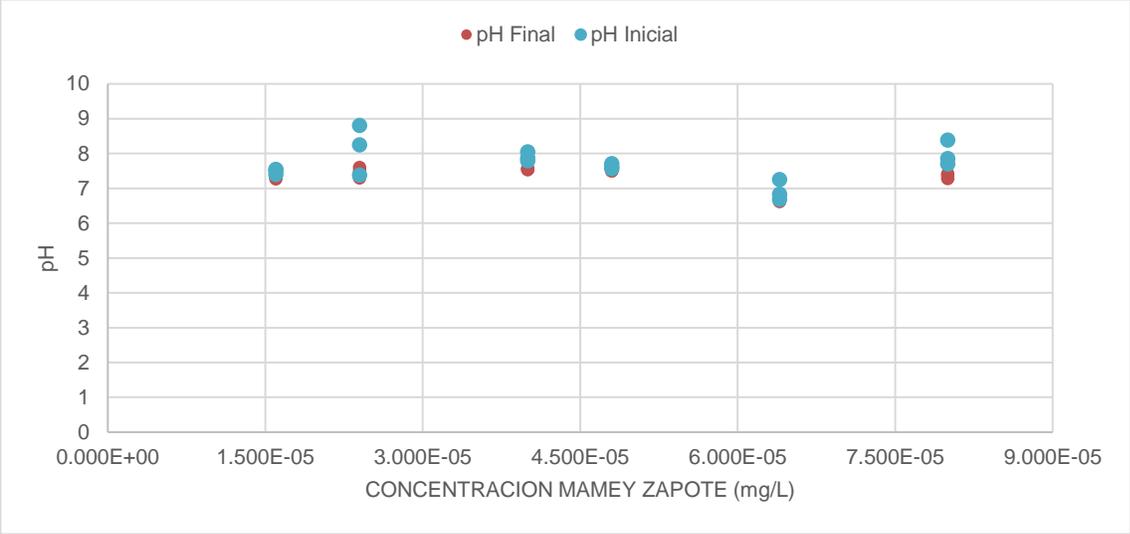
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 10. **Color en función del coagulante natural mezcla 100 a 60 RPM**



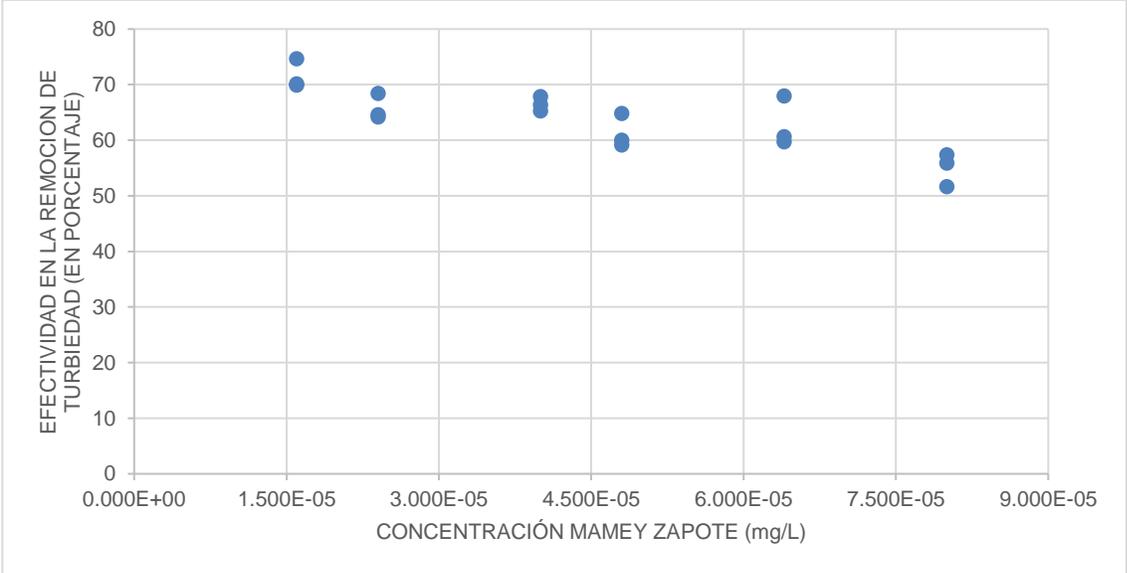
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 11. pH función del coagulante natural mezclas 100 a 60 RPM



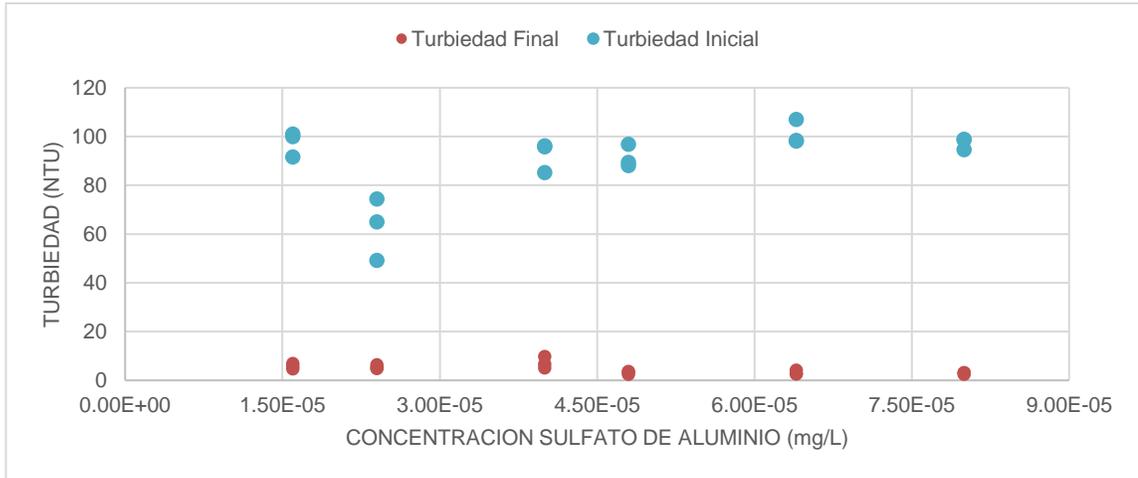
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 12. Efectividad de la turbiedad con mezclas 100 a 60 RPM



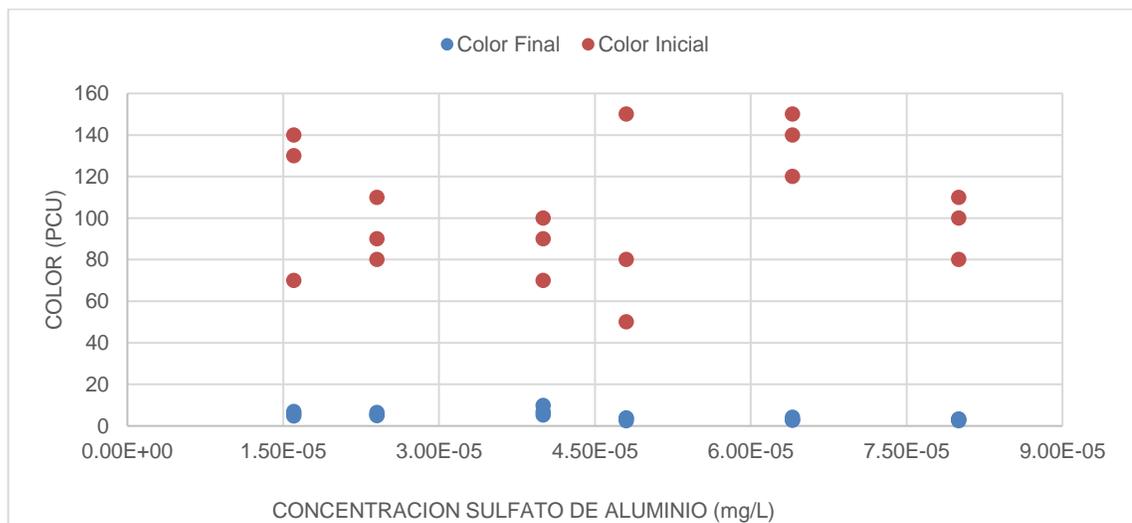
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 13. **Turbiedad de coagulante químico con mezclas 500 a 250 RPM**



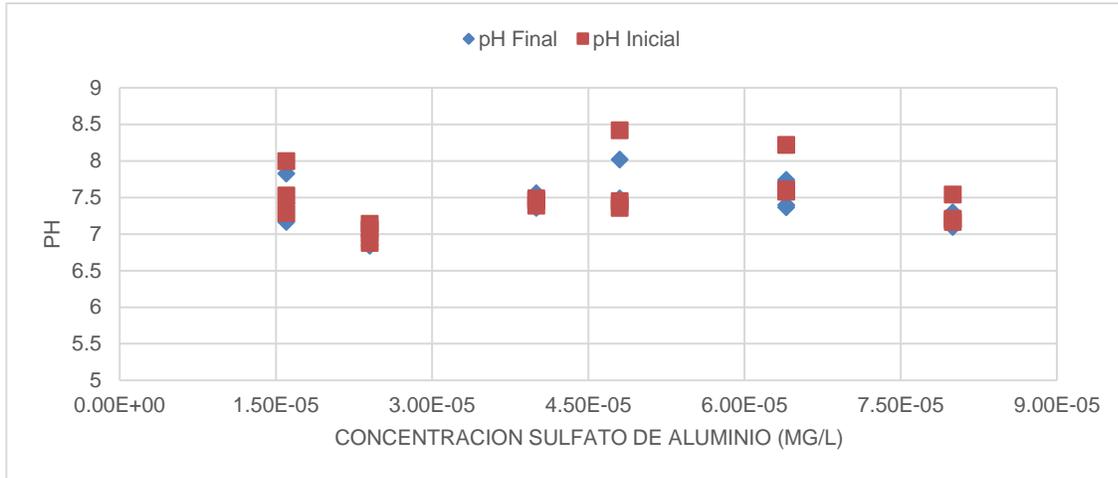
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 14. **Color en función del coagulante químico con mezclas 500-250 RPM**



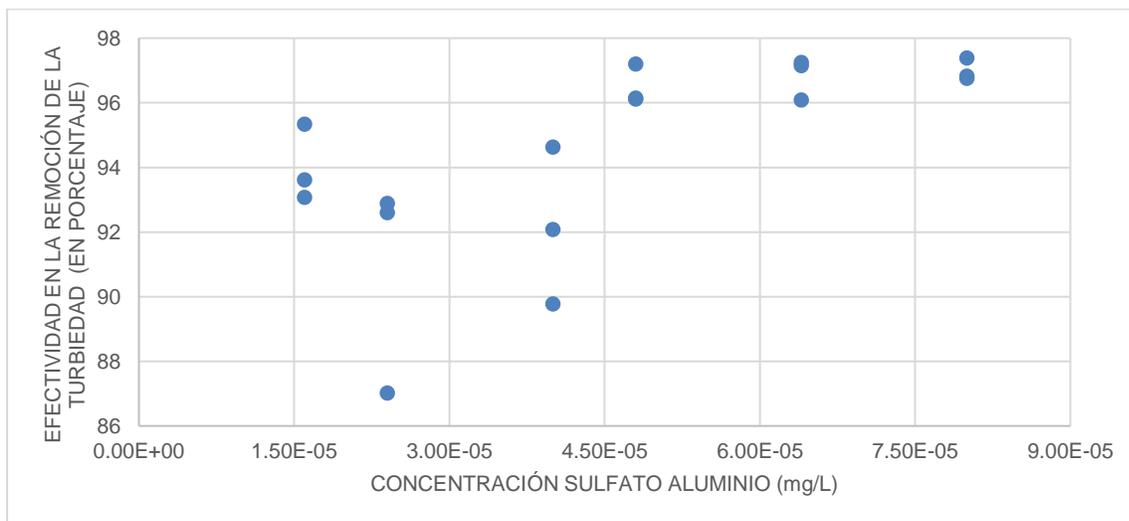
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 15. **pH coagulante de Sulfato de aluminio mezclas 500 a 250 RPM**



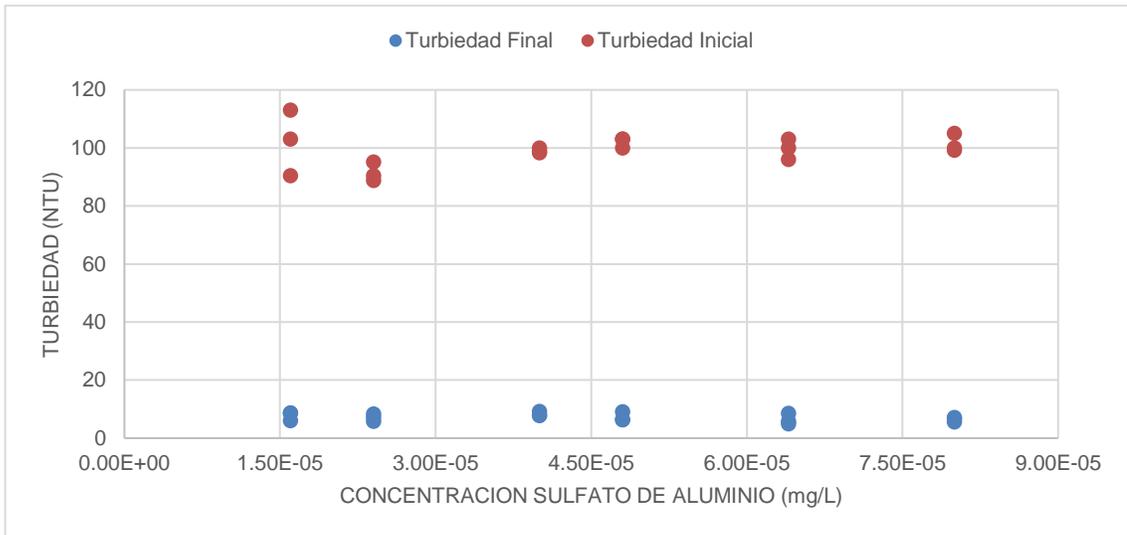
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 16. **Efectividad de la turbiedad con coagulante mezclas 500-250 RPM**



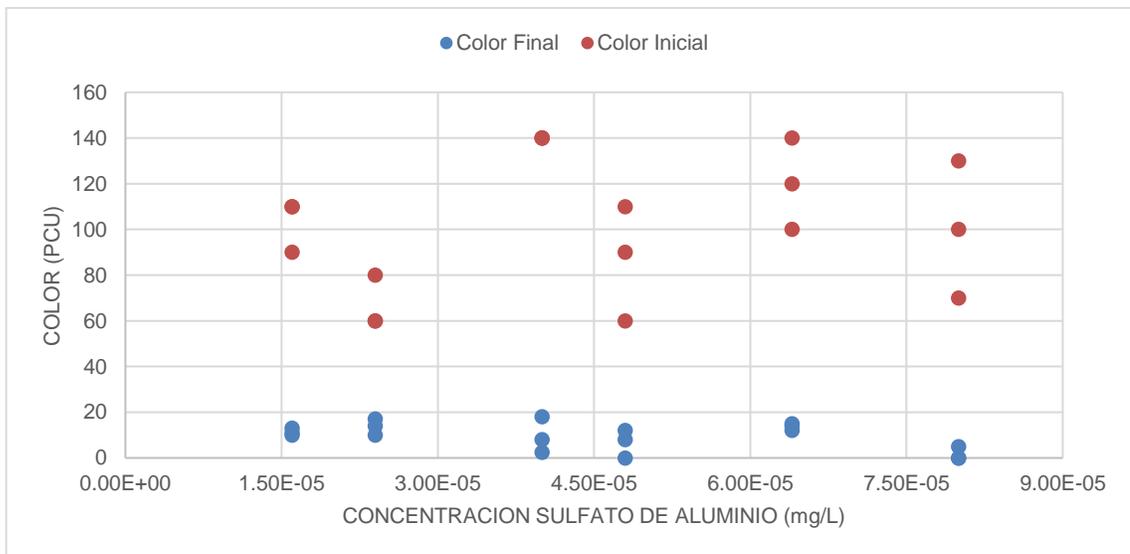
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 17. **Turbiedad del coagulante químico con mezclas 100-60 RPM**



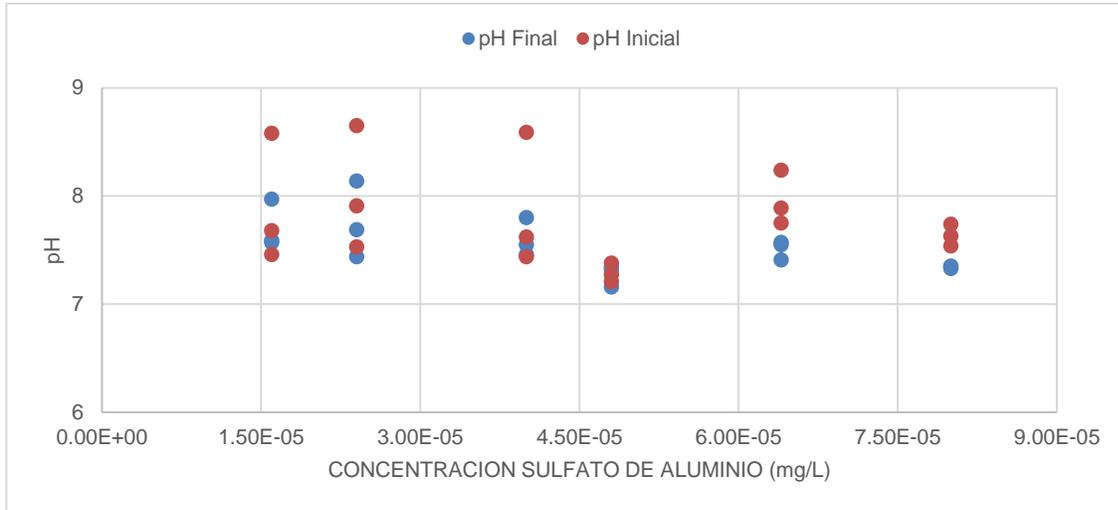
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 18. **Color del coagulante químico con mezclas de 100 a 60 RPM**



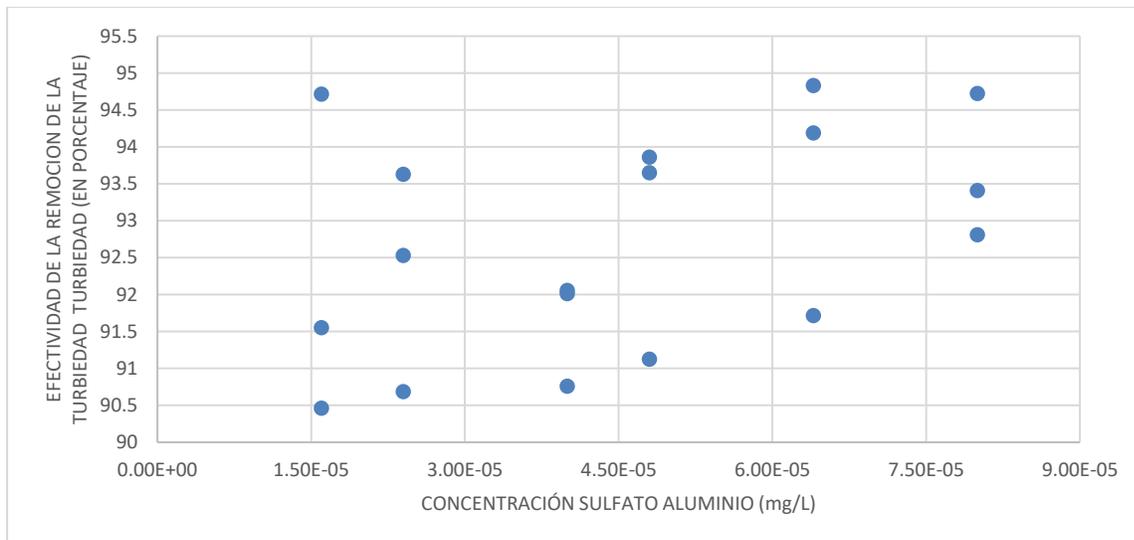
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 19. **pH del coagulante químico con mezclas de 100 a 60 RPM**



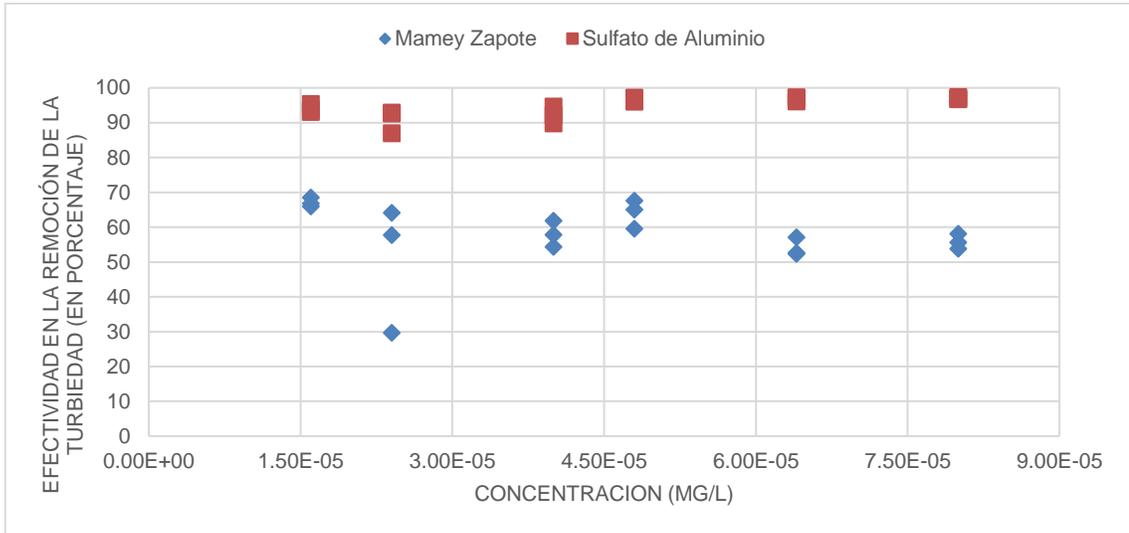
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 20. **Efectividad de la turbiedad con coagulante químico (100 a 60 RPM)**



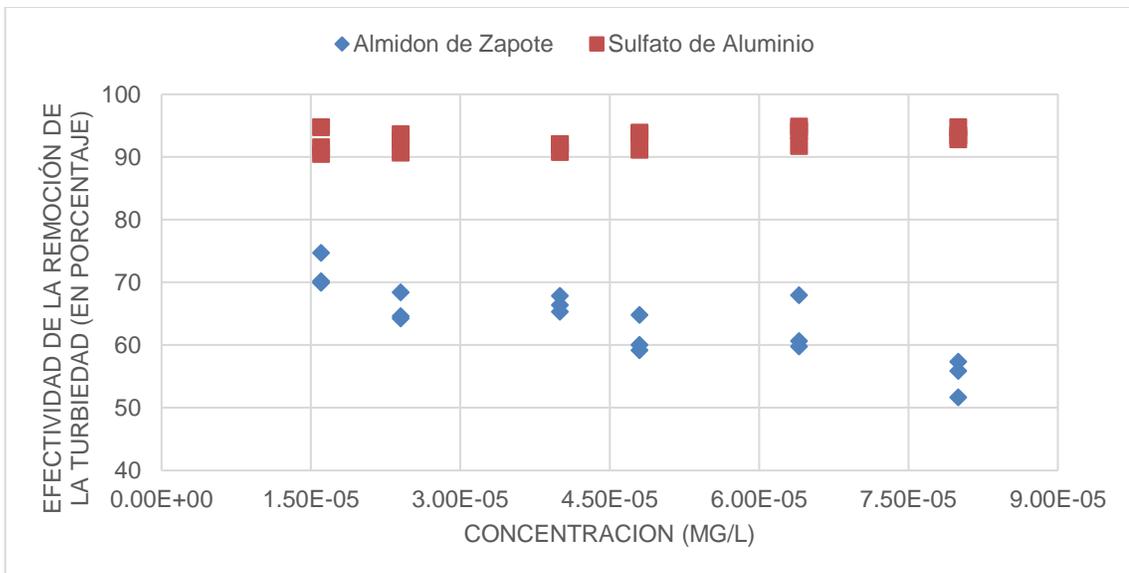
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 21. Efectividad de la turbiedad con mezclas 500 a 250 RPM



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Figura 22. Efectividad de la remoción en la turbiedad (500-250 RPM)



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

5. INTERPRETACION DE RESULTADOS

Se realizó la prueba de jarras utilizando dos coagulantes: almidón de mamey zapote (*Pouteria sapota*), y sulfato de aluminio. Se trabajó con una solución madre de 0.01 mg/L de mamey de zapote y una solución madre de 0.01 mg/L de sulfato de aluminio, estas soluciones fueron utilizadas para tomar volúmenes específicos del coagulante, que permitieran variar la dosis aplicada.

La prueba se realizó utilizando dos sets de velocidades de agitación: para el primer set se trabajó a una velocidad de mezcla rápida de 500 RPM durante un minuto y una mezcla lenta a 250 RPM por diez minutos, el segundo set consistió en una mezcla rápida de 100 RPM por un minuto y una mezcla lenta de 60 RPM por diez minutos, con un tiempo de sedimentación en ambos sets de agitación de diez minutos. El análisis estadístico realizado a los resultados se hizo con un nivel de significancia del 5 %.

Uno de los objetivos principales de esta investigación era determinar si el coagulante a base de almidón de mamey de zapote puede ser utilizado para provocar un cambio en la turbiedad del agua, para ello, se realizó el análisis para el primer set de velocidades, que consistió en tomar seis diferentes dosis de la solución madre del coagulante de mamey de zapote y luego se realizó tres repeticiones a cada dosis.

Como se puede observar en la figura 1 de la sección de resultados, si hubo un cambio entre la turbiedad inicial y la final. Para confirmar si el cambio fue significativo se realizó una comparación de medias a pareadas, en donde se obtuvo que entre las seis concentraciones evaluadas existió cambio en la

turbiedad para el coagulante de mamey zapote. Luego se realizó el análisis de comparación de medias apareadas a la turbiedad inicial y final obtenidas al trabajar con el segundo set de velocidad, el cual dio como resultado, que, entre las seis dosis evaluadas y las tres repeticiones realizadas a cada dosis, se obtuvo que existió una diferencia significativa entre la turbiedad inicial y la turbiedad final, como se observa en la figura 5 de la sección de resultados.

Cuando se trabajó con el primer set de velocidad se llegó a efectuar una remoción de turbiedad de 68.50 %, para obtener este resultado se trabajó con una concentración de $1.60E-5$ mg/L del coagulante de mamey zapote y turbiedad inicial de 107 NTU, llegando a obtener una turbiedad final de 33.7 NTU, como se logró observar en la figura 4 de la sección de resultados.

Para la prueba de jarras también se evaluaron al inicio y al final los valores de color y pH. Al evaluar el cambio de color cuando se obtuvo una remoción de turbiedad del 68.50 %, trabajando con el primer set de velocidades, se observó que el color cambiaba de 120 PCU a 80 PCU, esto se ilustra en la figura 2 de la sección de resultados. En este caso se observó que el pH cambió de 7.93 a 7.62, esto se muestra en la figura 3 de la sección de resultados.

Cuando se trabajó con el segundo set de velocidad se llegó a obtener una remoción de turbiedad del 74.66 %, cuando la turbiedad inicial de 96.7 NTU y la turbiedad final del 24.5 NTU, con una concentración del $1.60E-05$ mg/L, como se muestra en la figura 8 de la sección de resultados. Los valores de color y pH que se obtuvieron en el segundo set de velocidad cuando la remoción de turbiedad fue de 74.66 %, se obtuvo un color inicial de 100 PCU y con un color final de 20 PCU, y con un pH inicial de 7.4 y se obtuvo un pH final de 7.27, los valores para color y pH se logran apreciar para dicho set de velocidad en las figuras 6 y 7 respectivamente en la sección de resultados.

Se realizó el análisis ANDEVA para comparar los porcentajes de remoción en la turbiedad al utilizar distintas concentraciones de coagulante de mamey zapote. Al realizar esta evaluación para los porcentajes de remoción obtenidos en el primer set de velocidad se concluyó que no existió cambio significativo entre las concentraciones, lo que quiere decir que en el rango de concentraciones trabajadas ($1.60E-5$, $2.40E-5$, $4.00E-5$, $4.80E-5$, $6.40E-5$, y $8.00E-5$ mg/L), no importando la dosis de coagulante utilizados el porcentaje de remoción de turbiedad siempre será el mismo al aplicarles velocidades de mezcla rápida de 500 RPM y mezcla lenta de 250 RPM.

Dicho análisis también fue realizado para los porcentajes de remoción para el segundo set de velocidad para el coagulante de mamey de zapote, se concluyó que existió diferencia significativa entre las concentraciones trabajadas al aplicarles un set de velocidades donde la mezcla rápida es de 100 RPM y la mezcla lenta de 60RPM, a dichas concentraciones se le realizó el análisis de Tukey para evaluar cuál de las concentraciones fue la que tuvo mayor remoción de turbiedad, y dio como resultado, que la dosis óptima para realizar una mayor remoción de turbiedad se obtiene trabajando a una concentración de $1.60E-05$ mg/L del coagulante de mamey de zapote. Lo anterior se puede observar en el Apéndice 37 la gráfica de Tukey donde se encuentran la diferencia entre los valores de concentración trabajados y cuál es el que tiene mayor diferencia de remoción de turbiedad.

Se realizó la prueba de jarras para el coagulante de sulfato de aluminio para comparar la efectividad del coagulante de almidón de mamey zapote y la efectividad del sulfato de aluminio. Para el sulfato de aluminio se trabajó con dos sets de velocidades de agitación: el primer set consistió en un mezclado rápido de 500 RPM y un mezclado lento de 250 RPM, el segundo set se realizó a un mezclado rápido de 100 RPM y un mezclado lento de 60 RPM. Para el primer set

de velocidades se evaluó la diferencia que existió entre la turbiedad inicial del agua y la turbiedad que se obtuvo después de haberle aplicado la prueba de jarras, dicha diferencia fue evaluada por medio del análisis estadístico de medias apareadas, en el cual se obtuvo que existió diferencia significativa en entre la turbiedad inicial y final para cada una de las dosis de concentraciones trabajadas como se muestra en la figura 9 de la sección. También se realizó dicho análisis a los datos obtenidos con el segundo set de velocidades, se determinó que, si existe una diferencia significativa entre las turbiedades, esto se puede observar en la figura 13 de la sección de resultados.

Comparando los resultados, se puede concluir que cuando se trabajó con el primer set se obtuvo una mayor remoción de turbiedad, en este caso fue de 97.38 % esto se puede ver en la figura 12 de la sección de resultado, esta remoción se obtuvo cuando se trabajó con una turbiedad inicial de 94.6 NTU y se obtuvo una turbiedad final del 2.48 NTU, utilizando una dosis de $6.40E-5$ mg/L de sulfato de aluminio. A estas muestras también se les realizó el análisis de color y pH tanto al inicio como al final de cada prueba, determinando que el color cambió de 80 PCU a 1 PCU, y el pH cambió de 7.21 a 7.17, estos resultados se ilustran en la Figura 10 y 11 respectivamente de la sección de resultados.

Para el segundo set de velocidades se obtuvo que la mayor remoción de turbiedad fue de 94.83 %, y es reflejado en la figura 16 de la sección de resultados, fue trabajado a una turbiedad inicial de 96 NTU y una turbiedad final de 4.96 NTU dichos valores fueron obtenidos cuando se trabajó a una dosis de $6.40E-5$ mg/L, para dicha prueba también se le realizaron análisis de color y pH, del cual se trabajó a un color inicial de 140 PCU y se obtuvo un color final de 14 PCU, el pH inicialmente fue de 7.89 y se obtuvo un pH final de 7.57.

Se evaluó por medio del análisis estadístico de ANDEVA la comparación de la remoción de turbiedad entre las concentraciones trabajadas para determinar si existe cambios significativos entre ellos, para el primer set de velocidades para el sulfato de aluminio y se concluyó que existían diferencias significativas en la remoción de la turbiedad entre cada una de las dosis aplicadas del coagulante. Para determinar la dosis óptima de dicho coagulante se utilizó el método de Tukey, este dio como resultado, que las concentraciones que tuvieron mayor remoción de turbiedad fueron las de $4.80E-5$ mg/L, $6.4E-5$ mg/L y $8.00E-5$ mg/L.

El análisis de ANDEVA fue realizado al segundo set de velocidades para la remoción de turbiedades a los datos presentados en la figura 16 de la sección de resultados, a partir de esto se concluyó no existe diferencia significativa en la remoción de turbiedad de sulfato de aluminio cuando las velocidades de mezclado rápido son 100 RPM y mezclado lento de 60 RPM, al trabajar con concentraciones de $1.60E-05$ mg/L, $2.40E-05$ mg/L, $4.00E-05$ mg/L, $4.80E-05$ mg/L, $6.40E-05$ mg/L y $8.00E-05$ mg/L.

Se realizó el análisis estadístico de ANDEVA para dos factores, para comprobar si existió diferencia significativa entre la remoción de la turbiedad del almidón de mamey zapote y el sulfato de aluminio. Para el primer set de velocidad que consistía en la mezcla rápida de 500 RPM y mezcla lenta de 250 RPM, se pudo concluir que la remoción del almidón de mamey zapote fue diferente a la remoción que se obtuvo con el sulfato de aluminio, esto se observa en la figura 17 de la sección de resultados donde se ilustra que se obtuvieron mayores porcentajes de remoción con el sulfato de aluminio, que inclusive superan el 80 % de remoción.

Se realizó la misma evaluación con el segundo set de velocidades, este consistía en un mezclado rápido de 100 RPM y un mezclado lento de 60 RPM, al comparar el efecto de ambos coagulantes se concluyó que existe una diferencia significativa entre el porcentaje de remoción de sulfato de aluminio y el coagulante de mamey zapote. Las diferencias que existieron entre ambos coagulantes se pueden ver reflejadas en la figura 18 de la sección de resultados, en el cual, se logra apreciar que el sulfato de aluminio tuvo una mayor efectividad en la remoción de la turbiedad al trabajar con las concentraciones mencionadas anteriormente.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que al aplicar el coagulante de almidón de mamey zapote a un set de velocidad de mezclado rápido de 500 RPM y mezclado lento de 250 RPM se logró una remoción en la turbiedad del 68.50 % a una concentración de $1.60E-5$ mg/L del coagulante y también se comprobó que al aplicar el coagulante de almidón de mamey zapote a un set de velocidad de mezclado rápido de 100 RPM y mezclado lento de 60 RPM se obtuvo una remoción en la turbiedad del 74.66 % a una concentración de $1.60E-5$ mg/L del coagulante.
2. La dosis óptima de que se obtuvo para una mejor remoción de turbiedad fue de $1.60E-05$ mg/L de concentración de almidón de mamey zapote, el cual fue trabajado a un set de velocidad con mezcla rápida de 100 RPM y mezcla lenta de 60 RPM.
3. Al comparar la efectividad del coagulante de almidón de mamey zapote con el sulfato de aluminio para la prueba de jarras que se realizó con un set de velocidad de mezclado rápido y lento de 500 RPM y 250 RPM respectivamente se tuvo una mayor remoción de turbiedad cuando se agregó sulfato de aluminio a consecuencia de que presentó una efectividad de 97.38 % que al compararlo con el almidón cuya remoción fue de 68.50 %. La comparación del coagulante de almidón de mamey sapote con el sulfato de aluminio, para un set de velocidades de mezclado rápido de 100RPM y un mezclado lento de 60RPM, se obtuvo que el coagulante que mejor removió la turbiedad fue el sulfato de aluminio con una efectividad del 94.83 %.

RECOMENDACIONES

1. Lograr obtener un mejor resultado en el proceso de remoción de turbiedad con el coagulante de mamey zapote se pueden utilizar concentraciones madre mayores a 0.01mg/L pero menores a 0.1mg/L y trabajar con un set de velocidad de mezcla rápida 100RPM y mezcla lenta de 60RPM ya que al trabajar con un set con mayor velocidad se obtuvo efectividades menores.
2. Trabajar con un con un tiempo de mezclado rápido de un minuto y un tiempo de mezclado lento de diez minutos y variar el tiempo de sedimentación mayor a diez minutos pueden ser de 15 a 20 minutos.
3. Realizar la misma metodología para otros tipos de coagulantes naturales que sean a obtenidos de cáscaras o pepitas que puedan contener almidón o producir un efecto coagulante, y así lograr reducir los desechos de las frutas o verduras.

REFERENCIAS

1. Acebo, D. y Hernández, A. (enero, 2013). Los métodos turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida. *Cenic*, 44(1), 1-18. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181226886003.pdf>
2. Aguilar, M., Ortuño, J., Soler, A. y Sáez, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*, Murcia, España: F.G. Graf S.L.
3. Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua. Coagulación y floculación*. Lima, Perú: SEDAPAL.
4. Barrenechea, A. (2004). *Tratamiento de aguas para consumo humano. In Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría. (Vol. 1)*. Lima -Perú: Organización Panamericana de la Salud. Recuperado de http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf
5. Bayuelo, J. y Ochoa, J. (marzo, 2006). Caracterización morfológica de zapote mamey (*Pouteris sapota* (Jacquin) H.E. Moore & Stearn) del Centro Occidente de Michoacán, México. *Fitotecnia Mexicana*, 29(1), 9-17. Recuperado de <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-1/2a.pdf>

6. Cabrera, X., Fleites, M. y Contreras, A. (marzo, 2009). Estudio del proceso de coagulaciónfloculación de aguas residuales de la empresa Textil “Desembarco Del Granma” a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, XXIX(3), 64–73. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760009>
7. Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, E., Parra, P., Marín, J. y Díaz, A. (febrero, 2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Facultas de Ciencias Básicas*, 13(2), 90-99. Recuperado de <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>.
8. Castells, P. (14 de septiembre de 2009). El almidón [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/biocarburantes-489/el-almidn-1136>
9. Gómez, R., Guerra, T., Dita, L., Fernández, J. y Cabrera, M. (2011). Teoría celular de la coagulación: de las cascadas a las membranas celulares. *Medisur*, 9(2), 146-155. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2011000200011
10. Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C. y García, R. (junio, 2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revision. *U.D.C.A Actualidad & Divulgacion*, 16(1). 253-262. Recuperado de <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/881>

11. Lorenzo, Y. (mayo, 2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)*, 40(2), 10-17. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>.
12. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1998). *Los almidones tropicales no llegan al mercado. Departamento de Agricultura y protección del consumidor*. París: FAO. Recuperado de: www.fao.org/ag/esp/revista/9809/spot3.htm
13. Riaños, K., Meza, M. y Mercado, I. (octubre, 2019). Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants. *Revista DYNA*, 86(209), 73-78. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v86n209/0012-7353-dyna-86-209-73.pdf>
14. Rincón, V. y Vásquez, O. (2016). *Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento de la cáscara de banano para la remoción de plomo en las aguas de reigo de cultivo de lechuga, en un estudio de caso en la vereda bosatom, del municipio de soacha, cundinamarca* (Tesis de licenciatura). Universidad Piloto de Colombia, Colombia. Recuperado de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/799>
15. Sawyer, C. y Perry, M. (1967). *Chemistry for sanitary engineers*. Estados Unidos de America: McGraw-Hill.

16. Solís, J., Ayala, R., Fernández, A. y Durán, M. (enero, 2015). Mamey sapote seed oil (*Pouteria sapota*). Potential, composition, fractionation and thermal behavior. *Grasas Aceites*, 66(1), 1-10. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5161233>
17. Spellman, F. (2008). *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. Nueva York, Estados Unidos de America. New York: CRC Press.
18. Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincón, A., Pacheco, S. y Herrera, O. (junio, 2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidon de plátano. *Revista ION*, 27(1), 17-34. Recuperado de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/4140/4459>.
19. Velázquez, K., Alvarado, B. y Reyes, A. (mayo, 2015). Historia del mamey *Pouteria sapota*. *Iberoamericana de Ciencias*, 2(3), 55-63. Recuperado de <http://www.reibci.org/publicados/2015/mayo/0500121.pdf>.

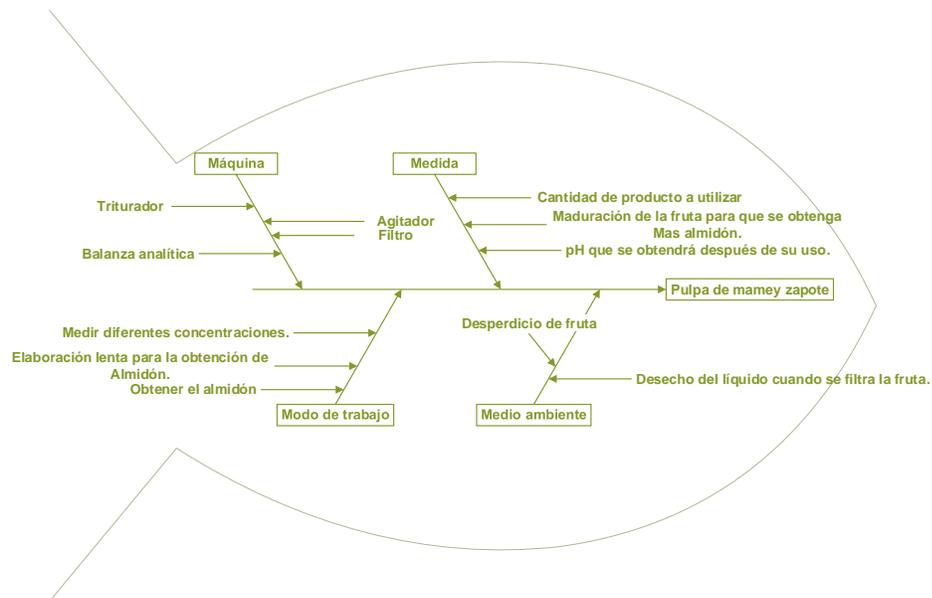
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos

Título de tema de tesis	Requisito académico	Año en el que se cursó
Preparación y evaluación del funcionamiento del almidón de mamey zapote (<i>pouteria sapota</i>), como coagulante para la remoción de turbiedad en agua cruda sintética.	Estadística	2016
	Bioquímica	2017
	Calidad del agua	2018
	Análisis cuantitativo	2016
	Análisis Cualitativo	2016
	Procesos químicos industriales	2020
	Control de contaminantes Industriales	2019

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio.

Apéndice 3. Datos obtenidos de la turbiedad para diferente tipo de coagulante

Velocidades (RPM)	250-500		60-100		250-500		60-100	
Concentración inicial (mg/L):	0.01		0.01		0.01		0.01	
Tipo de plancha:	IKA C-MAG HS7		Elaborada propia.		IKA C-MAG HS7		Elaborada propia	
Tipo de coagulante	Almidón de Mamey Zapote		Almidón de Mamey Zapote		Sulfato de Aluminio		Sulfato de Aluminio	
Cantidad de concentración (mL)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)						
0.4	102	34.70	94.40	28.40	91.6	5.85	90.40	8.62
	107	33.70	91.80	27.40	100.00	6.93	103.00	8.70
	93	30.90	96.70	24.50	101.00	4.71	113.00	5.97
0.6	100	35.90	95.10	33.70	65.10	4.82	95.20	7.11
	57.3	40.30	95.00	34.00	49.20	6.39	88.80	8.27
	89.5	37.80	95.90	30.30	74.50	5.3	90.40	5.76
1	98.1	41.40	100.0	34.70	85.30	6.76	98.30	7.81
	91.4	41.70	98.60	31.70	96.20	9.84	98.90	7.90
	96.4	36.80	99.00	33.30	95.80	5.15	100.00	9.24
1.2	96.1	33.60	97.40	39.80	88.10	2.47	103.00	9.14
	87.2	35.30	98.30	39.30	96.90	3.77	103.00	6.32
	98.1	31.80	98.90	34.80	89.40	3.45	100.00	6.35
1.6	95	45.00	88.20	35.50	107.00	4.19	100.00	5.81
	93.7	40.20	99.30	39.10	98.40	2.71	96.00	4.96
	96.4	45.90	92.70	29.70	98.20	2.8	103.00	8.53
2	98	45.30	97.80	47.30	98.90	3.21	99.20	7.13
	100	41.90	102.00	43.50	94.60	2.48	100.00	6.59
	87.7	38.90	97.00	42.80	98.90	3.14	105.00	5.54

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 4. **Prueba de jarras para diferenciar el color al inicio y al final**

Velocidades (RPM)	250-500		60-100		250-500		60-100	
Concentración inicial (mg/L):	0.01		0.01		0.01		0.01	
Tipo de plancha:	IKA C-MAG HS7		Elaborada propia.		IKA C-MAG HS7		Elaborada propia	
Tipo de coagulante	Almidón de Mamey Zapote		Almidón de Mamey Zapote		Sulfato de Aluminio		Sulfato de Aluminio	
Cantidad de concentración (mL)	Color inicial (PCU)	Color final (PCU)	Color inicial (PCU)	Color final (PCU)	Color inicial (PCU)	Color final (PCU)	Color inicial (PCU)	Color final (PCU)
0.4	160	60	100	40	130	5	90	10
	120	80	100	40	140	4	110	11
	130	60	100	20	70	5	110	13
0.6	120	80	120	40	110	4	60	14
	110	90	150	60	80	7	60	17
	110	40	140	50	90	4	80	10
1	140	107	120	30	90	12	140	18
	150	70	90	30	100	16	140	8
	120	50	90	50	70	5	140	2.5
1.2	100	20	70	10	50	0	60	0
	100	40	90	0	80	1	110	8
	120	40	130	30	150	7	90	12
1.6	70	70	150	70	140	6	120	15
	150	60	160	60	120	2	140	14
	150	50	130	40	150	2	100	12
2	120	70	140	50	110	6	100	0
	90	70	130	60	80	1	70	0
	90	70	110	60	100	3	130	5

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 5. **Datos de pruebas de jarras para medir el pH**

Velocidades (RPM)	250-500		60-100		250-500		60-100	
Concentración inicial (mg/L):	0.01		0.01		0.01		0.01	
Tipo de plancha:	IKA C-MAG HS7		Elaborada propia.		IKA C-MAG HS7		Elaborada propia	
Tipo de coagulante	Almidón de Mamey Zapote		Almidón de Mamey Zapote		Sulfato de Aluminio		Sulfato de Aluminio	
Cantidad de concentración (mL)	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final
0.4	8.57	8.03	7.52	7.36	8.00	7.83	8.58	7.97
	7.93	7.62	7.55	7.33	7.53	7.42	7.68	7.59
	8.30	8.04	7.40	7.27	7.29	7.17	7.46	7.57
0.6	7.95	7.70	7.38	7.30	7.14	7.06	8.65	8.14
	7.96	7.49	8.81	7.60	7.07	6.92	7.91	7.69
	8.61	7.26	8.25	7.50	6.88	6.84	7.53	7.44
1	8.31	7.43	8.05	7.54	7.49	7.56	8.59	7.8
	7.87	7.36	7.87	7.55	7.39	7.36	7.62	7.55
	7.76	7.39	7.79	7.57	7.46	7.40	7.44	7.46
1.2	7.64	7.36	7.71	7.50	7.36	7.45	7.38	7.34
	7.54	7.38	7.62	7.50	7.45	7.49	7.27	7.32
	7.52	7.33	7.56	7.52	8.42	8.02	7.21	7.16
1.6	7.57	7.37	7.25	6.62	8.22	7.74	8.24	7.41
	8.42	7.69	6.83	6.63	7.61	7.40	7.89	7.57
	8.04	7.72	6.69	6.70	7.58	7.37	7.75	7.55
2	7.95	7.61	7.86	7.42	7.54	7.30	7.63	7.35
	8.06	7.58	8.39	7.37	7.21	7.17	7.54	7.35
	7.74	7.55	7.70	7.28	7.17	7.10	7.74	7.33

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 6. **Efectividad de la remoción de la turbiedad**

Velocidades (RPM)	250-500	60-100	250-500	60-100
Concentración inicial (mg/L):	0.01	0.01	0.01	0.01
Tipo de plancha:	IKA C-MAG HS7	Elaborada propia.	IKA C-MAG HS7	Elaborada propia
Tipo de coagulante	Almidón de Mamey Zapote	Almidón de Mamey Zapote	Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio
Cantidad de concentración (mL)	EFFECTIVIDAD DE LA TURBIEDAD (NTU)			
0.4	65.98	69.92	93.61	90.46
	68.50	70.15	93.07	91.55
	66.77	74.66	95.34	94.72
0.6	64.10	64.56	92.60	92.53
	29.67	64.21	87.01	90.69
	57.77	68.40	92.89	93.63
1	57.80	65.30	92.08	92.05
	54.38	67.85	89.77	92.01
	61.83	66.36	94.62	90.76
1.2	65.04	59.14	97.20	91.13
	59.52	60.02	96.11	93.86
	67.58	64.81	96.14	93.65
1.6	52.63	59.75	96.08	94.19
	57.10	60.62	97.25	94.83
	52.39	67.96	97.15	91.72
2	53.78	51.64	96.75	92.81
	58.10	57.35	97.38	93.41
	55.64	55.88	96.83	94.72

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 7. **Análisis estadístico de medias apareadas de la turbiedad**

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	100.67	33.10	82.27	38.00	95.30	39.97
Varianza	50.33	3.88	495.06	4.87	12.13	7.54
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.82		-0.98		-0.33	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	20.88		3.14		18.83	
P(T<=t) una cola	0.00		0.04		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.00		0.09		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 8. **Análisis estadístico de medias apareadas de la turbiedad**

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	93.80	33.57	95.03	43.70	95.23	42.03
Varianza	33.67	3.06	1.82	9.39	43.56	10.25
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.93		0.92		0.76	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	13.98		46.97		19.73	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.01		0.00		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 9. **Análisis estadístico de medias apareadas del color**

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	13.67	6.67	11.33	7.00	13.67	6.33
Varianza	4.33	1.33	0.33	7.00	2.33	1.33
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.69		0.33		0.94	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	4.04		2.98		22.00	
P(T<=t) una cola	0.03		0.05		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.06		0.10		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 10. **Análisis estadístico de medias apareadas del color**

concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	10.67	3.33	12.33	6.00	10.00	7.00
Varianza	1.33	1.33	21.33	1.00	3.00	0.00
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.50		-0.87			
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	11.00		1.99		3.00	
P(T<=t) una cola	0.00		0.09		0.05	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.01		0.18		0.10	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 11. **Análisis estadístico de medias apareadas del pH**

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	8.27	7.90	8.17	7.48	7.98	7.39
Varianza	0.10	0.06	0.14	0.05	0.08	0.00
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.90		-0.89		0.81	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	4.29		2.05		3.86	
P(T<=t) una cola	0.03		0.09		0.03	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.05		0.18		0.06	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 12. **Análisis estadístico de medias apareadas del pH**

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	7.57	7.36	8.01	7.59	7.92	7.58
Varianza	0.00	0.00	0.18	0.04	0.03	0.00
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.27		0.86		0.65	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	5.82		2.60		4.02	
P(T<=t) una cola	0.01		0.06		0.03	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.03		0.12		0.06	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 13. **Análisis estadístico de medias apareadas de la turbiedad**

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	94.30	26.77	95.33	32.67	99.20	33.23
Varianza	6.01	4.10	0.24	4.22	0.52	2.25
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.69		-1.00		0.96	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	28.39		42.60		137.22	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 14. **Análisis estadístico de medias apareadas de la turbiedad**

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	98.20	37.97	93.40	34.77	98.93	44.53
Varianza	0.57	7.58	31.17	22.49	7.21	5.86
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.85		0.48		-0.23	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	30.50		19.07		23.53	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 15. **Análisis estadístico de medias apareadas del color**

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	100.00	33.33	136.67	50.00	100.00	36.67
Varianza	0.00	133.33	233.33	100.00	300.00	133.33
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson			0.98		-0.50	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	10.00		26.00		4.36	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.02	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.01		0.00		0.05	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 16. **Análisis estadístico de medias apareadas del color**

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	96.67	13.33	146.67	56.67	126.67	56.67
Varianza	933.33	233.33	233.33	233.33	233.33	33.33
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.79		0.79		-0.76	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	6.93		15.59		6.06	
P(T<=t) una cola	0.01		0.00		0.01	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.02		0.00		0.03	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 17. **Análisis estadístico de medias apareadas del pH**

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	7.49	7.32	8.15	7.47	7.90	7.55
Varianza	0.01	0.00	0.52	0.02	0.02	0.00
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.87		1.00		-0.92	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	6.43		2.07		4.12	
P(T<=t) una cola	0.01		0.09		0.03	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.02		0.17		0.05	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 18.

Análisis estadístico de medias apareadas del pH

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	7.63	7.51	6.92	6.65	7.98	7.36
Varianza	0.01	0.00	0.08	0.00	0.13	0.01
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.80		-0.77		0.38	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	2.51		1.45		3.19	
P(T<=t) una cola	0.06		0.14		0.04	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.13		0.28		0.09	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 19.

Análisis estadístico de medias apareadas de la turbiedad

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	97.53	5.83	62.93	5.50	92.43	7.25
Varianza	26.65	1.23	163.54	0.65	38.20	5.68
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.11		-0.78		0.21	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	29.41		7.41		24.03	
P(T<=t) una cola	0.00		0.01		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.00		0.02		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 20. **Análisis estadístico de medias apareadas de la turbiedad**

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	91.47	3.23	101.20	3.23	97.47	2.94
Varianza	22.56	0.46	25.24	0.69	6.16	0.16
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.78		1.00		1.00	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	36.04		40.43		78.65	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 21.

Análisis estadístico de medias apareadas del color

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	113.33	4.67	93.33	5.00	86.67	11.00
Varianza	1433.33	0.33	233.33	3.00	233.33	31.00
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.61		-0.76		1.00	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	4.93		9.20		13.49	
P(T<=t) una cola	0.02		0.01		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.04		0.01		0.01	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 22. **Análisis estadístico de medias apareadas del color**

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	93.33	2.67	136.67	3.33	96.67	3.33
Varianza	2633.33	14.33	233.33	5.33	233.33	6.33
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.99		0.19		0.95	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	3.30		15.38		12.53	
P(T<=t) una cola	0.04		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.08		0.00		0.01	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 23.

Análisis estadístico de medias apareadas del pH

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	7.61	7.47	7.03	6.94	7.45	7.44
Varianza	0.13	0.11	0.02	0.01	0.00	0.01
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	1.00		0.91		0.85	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	7.18		2.80		0.17	
P(T<=t) una cola	0.01		0.05		0.44	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.02		0.11		0.88	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 24. **Análisis estadístico de medias apareadas**

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	7.74	7.65	7.80	7.50	7.31	7.19
Varianza	0.35	0.10	0.13	0.04	0.04	0.01
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	1.00		1.00		0.97	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	0.58		3.33		1.87	
P(T<=t) una cola	0.31		0.04		0.10	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.62		0.08		0.20	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 25. **Análisis estadístico de medias apareadas de la turbiedad**

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	102.13	7.76	91.47	7.05	99.07	8.32
Varianza	128.25	2.41	11.09	1.58	0.74	0.64
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.82		-0.20		0.96	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	12.95		38.63		616.05	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.01		0.00		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 26. **Análisis estadístico de medias apareadas de la turbiedad**

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	102.00	7.27	99.67	6.43	101.40	6.42
Varianza	3.00	2.62	12.33	3.48	9.88	0.65
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.49		0.93		-0.98	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	96.97		84.79		41.78	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 27.

Análisis estadístico de medias apareadas del color

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	103.33	11.33	66.67	13.67	140.00	9.50
Varianza	133.33	2.33	133.33	12.33	0.00	61.75
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.76		-0.90		#¡DIV/0!	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	15.26		6.20		28.76	
P(T<=t) una cola	0.00		0.01		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.00		0.03		0.00	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 28.

Análisis estadístico de medias apareadas del color

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	86.67	6.67	120.00	13.67	100.00	1.67
Varianza	633.33	37.33	400.00	2.33	900.00	8.33
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.74		0.65		0.87	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	6.58		9.68		6.18	
P(T<=t) una cola	0.01		0.01		0.01	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.02		0.01		0.03	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 29.

Análisis estadístico de medias apareadas del pH

Concentración (mg/L)	1.60E-05		2.40E-05		4.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	7.91	7.71	8.03	7.76	7.88	7.60
Varianza	0.35	0.05	0.32	0.13	0.38	0.03
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.99		1.00		0.99	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	0.92		2.20		1.09	
P(T<=t) una cola	0.23		0.08		0.19	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.46		0.16		0.39	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 30.

Análisis estadístico de medias apareadas del pH

Concentración (mg/L)	4.80E-05		6.40E-05		8.00E-05	
Valores	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2
Media	7.29	7.27	7.96	7.51	7.64	7.34
Varianza	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00
Observaciones	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.83		-0.92		-0.89	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	2.00		2.00		2.00	
Estadístico t	0.42		2.33		4.59	
P(T<=t) una cola	0.36		0.07		0.02	
Valor crítico de t (una cola)	2.92		2.92		2.92	
P(T<=t) dos colas	0.72		0.15		0.04	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30		4.30		4.30	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 31. **Análisis estadístico de ANDEVA (mezcla 500 a 250 RPM)**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	585.532682	5	117.1065364	1.84829068	0.177746586	3.105875239
Dentro de los grupos	760.3124604	12	63.3593717			
Total	1345.845142	17				

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 32. **Análisis estadístico de ANDEVA (mezclas 100 a 60 RPM)**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	470.7525047	5	94.15050095	10.7233898	0.000424878	3.105875239
Dentro de los grupos	105.3590364	12	8.779919697			
Total	576.1115411	17				

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 33. **Análisis estadístico de ANDEVA, químico (500-250 RPM)**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	104.0972567	512	20.81945135	6.51673742	0.00376442	3.105875239
Dentro de los grupos	38.33719238		3.194766031			
Total	142.4344491	17				

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 34. Análisis estadístico de ANDEVA, Químico (100 a 60 RPM)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9.838558461	5	1.967711692	0.86757557	0.530305673	3.105875239
Dentro de los grupos	27.21669583	12	2.268057986			
Total	37.05525429	17				

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 35. Análisis estadístico de ANDEVA, químico (500-250 RPM)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	604.55925	8	75.5699063	2.79319278	0.03349015	2.5101579
Columnas	11855.637	1	11855.637	438.204589	4.3767E-14	4.41387342
Interacción	396.729854	8	49.5912317	1.83297661	0.13608923	2.5101579
Dentro del grupo	486.990488	18	27.0550271			
Total	13343.9166	35				

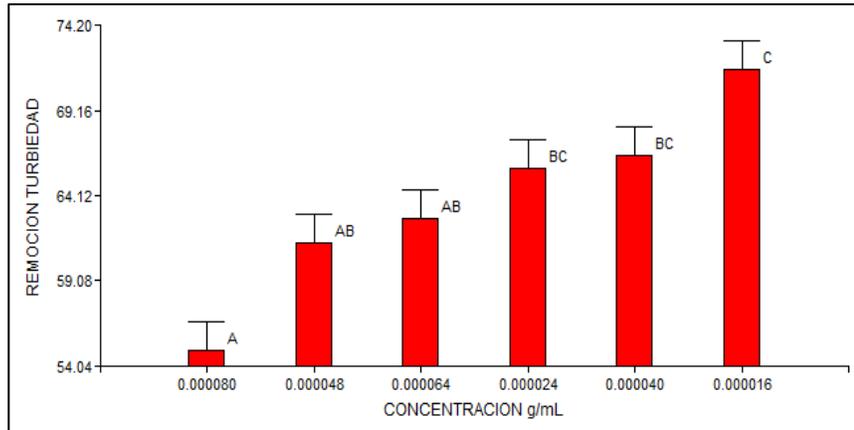
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 36. Análisis estadístico de ANDEVA de dos factores

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	139.09917	8	17.3873962	1.28	0.31327762	2.5101579
Columnas	7515.18226	1	7515.18226	553.34	5.7536E-15	4.41387342
Interacción	229.599628	8	28.6999535	2.11	0.08938196	2.5101579
Dentro del grupo	244.467998	18	13.5815554			
Total	8128.34906	35				

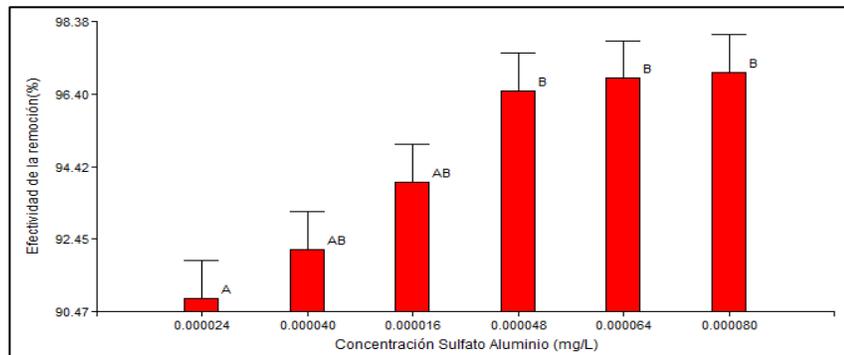
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 365.

Apéndice 37. **Análisis estadístico Tukey para la turbiedad coagulante natural**



Fuente: elaboración propia, realizado con InfoStat.

Apéndice 38. **Análisis estadístico Tukey para de turbiedad (100-60 RPM)**



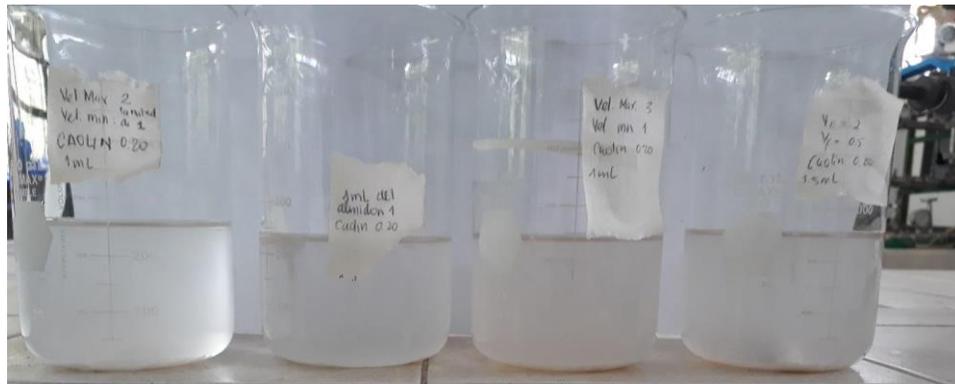
Fuente: elaboración propia, realizado con InfoStat.

Apéndice 39. **Prueba de jarras con diferentes concentraciones**



Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 40. **Prueba de jarras a diferentes concentraciones de caolín**



Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 41. **Muestra de gelatinización de almidón de zapote con NaOH**



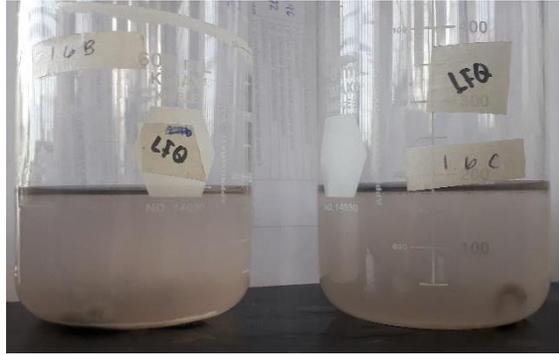
Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 42. **Precipitación de la coagulación del almidón de Mamey de Zapote**



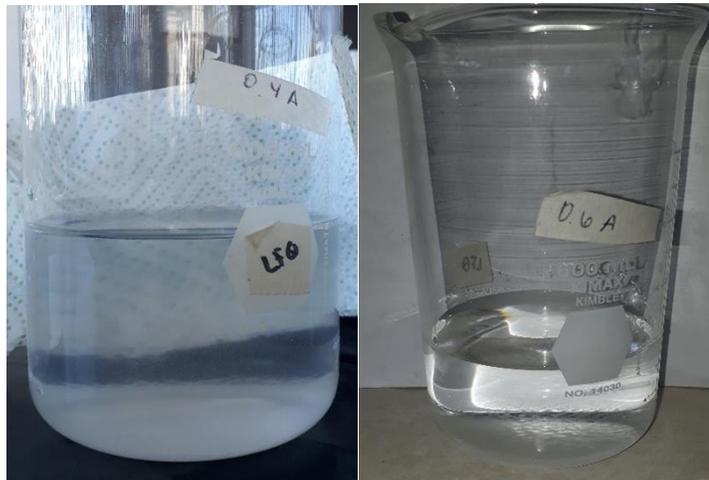
Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 43. **Muestra de prueba de jarras de almidón de Zapote (100-60 RPM)**



Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 44. **Muestra de prueba de jarras después de agitación con Al_2SO_4**



Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 45. **Prueba de jarras después de la agitación (500-250 RPM)**



Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 46. **Diseño de la plancha elaborada para velocidades de agitación**



Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Físicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 47. **Fruto Mamey Zapote (*Pouteria sapota*)**



Fuente: [Fotografía de Gabriela Lainez]. (Laboratorio de Fisicoquímica, edificio T-5, USAC, Facultad de Ingeniería, zona 12 de Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

