

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“EXTRACTO DE MORINGA (*Moringa oleífera*) PARA LA
REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE EFLUENTES DE LA PRODUCCIÓN
DE NÉCTAR DE MARACUYÁ”**

Presentada por:

HERMELINDA ALVAREZ CHANCASANAMPA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima - Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“EXTRACTO DE MORINGA (*Moringa oleífera*) PARA LA
REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE EFLUENTES DE LA PRODUCCIÓN
DE NÉCTAR DE MARACUYÁ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER
SCIENTIAE**

Presentada por:

HERMELINDA ALVAREZ CHANCASANAMPA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Américo Guevara Pérez
PRESIDENTE

Dra. Gladys Carrión Carrera
PATROCINADORA

Mg.Sc. Felipe de Mendiburu Delgado
CO-PATROCINADOR

Ph.D. Absalón Vásquez Villanueva
MIEMBRO

M.Sc. Aníbal Verástegui Maita
MIEMBRO

“Haz lo que amas, ama todo lo que hagas; el éxito está en ti”

“Da siempre lo mejor de ti. Lo que plantees ahora, lo cosecharás más tarde.”

Og Mandino.

“Todos nuestros sueños pueden hacerse realidad si tenemos el coraje de perseguirlos”.

Walt Disney.

“La vida es una especie de bicicleta. Si quieres mantener el equilibrio, pedalea hacia delante”.

Albert Einstein.

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos, sobrinos (as) y a todos las personas quienes tienen esa bondad en su corazón de dar lo mejor de sí.

En la vida hay una luz “la esperanza”.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por acompañarme cada día de mi vida, iluminando mi camino, por darme la fortaleza para seguir adelante hasta llegar a cumplir mis metas. Además, le agradezco por colocar en mi camino a las personas muy generosas, de buen corazón que han permitido que esta investigación se concluya.

Un agradecimiento especial a la Dra. Gladys Juana Carrión Carrera, por su constante apoyo desde el inicio de la realización de esta investigación hasta su culminación, por sus valiosos comentarios académicos, sugerencias, voluntad en la enseñanza, paciencia y disposición de atender cualquier consulta. Gracias Dra. Maestra de buen corazón. Por orientarme y compartir sus conocimientos.

Un agradecimiento especial al Mg. Sc. Felipe De Mendiburu Delgado, por su constante apoyo desde el inicio de la realización de esta investigación hasta su culminación, por su orientación estadístico, por su voluntad y disposición de atender cualquier consulta. Gracias Mg. Sc por su apoyo incondicional.

Un agradecimiento especial al Blgo. Juan Gabriel Juscamaita Morales, por haberme apoyado incondicionalmente desde el inicio de la realización de esta investigación hasta su culminación, por su confianza, paciencia, dirección y valiosos comentarios académicos. Gracias Maestro por apoyarme, ser mi guía, por sus invaluable enseñanzas a lo largo de la realización de esta tesis y ser un gran maestro. Muchas gracias ¡.

Un agradecimiento especial al Dr. Mario Monteghirfo Gomero, por su orientación, enseñanza, voluntad, generosidad y disposición de atender cualquier consulta. Gracias Doctor. Por formar parte de esta investigación.

Un agradecimiento especial a los miembros del Jurado: Dr. Américo Guevara Pérez, Ph.D. Absalón Vásquez Villanueva y M.Sc. Aníbal Verástegui Maita. Por sus sugerencias, comentarios y recomendaciones que fortalecen mi persona.

Un agradecimiento especial a Dr. Luis Alberto Condezo Hoyos. Gracias Dr. Por la gran amistad y por el apoyo incondicional. Muchas gracias Dr.

Un agradecimiento especial a la Asistente Social de la Universidad Nacional Agraria La Molina Elizabeth Gereda Martínez. Por el apoyo incondicional desde el inicio de mi carrera en esta casa de estudio, hasta este momento. Gracias licenciada por ser una gran amiga y ser ejemplo de persona de gran corazón.

Un agradecimiento especial al Bachiller Julio César Alvarez Chancasanampa, por su apoyo, sus consejos y sus críticas, desde el inicio hasta la culminación de esta investigación.

Un agradecimiento especial a los Bachilleres Raúl Alvarez Chancasanampa y Jorgen Jostein Alvarez Chancasanampa, por su apoyo incondicional y sus consejos.

Un agradecimiento especial al licenciado Edgar Giraldo Araujo, por el apoyo incondicional, su generosidad y su amistad. Muchas gracias amigo.

Agradeciéndole a mis padres (Hermelinda Honorata Chancasanampa Vilcañaupa y Timoteo Alvarez Ccente) por darme la vida, por haber sembrado principios y valores a todos mis hermanos, por enseñarme a ser perseverante ante la adversidad. Es la riqueza más grande que han sembrado en mí, para ser una gran persona de buen corazón.

Agradeciéndole a mis hermanos: César, Timoteo, Raúl, Julio César, Viviana y Jorgen Jostein, quienes han sido ejemplo de mi formación profesional, por sus consejos, sus críticas y su paciencia, y a mi sobrino Erick.

Agradeciéndolo nuevamente a toda mi familia por la paciencia y el apoyo incondicional. Muchas gracias ¡.

Agradeciéndole a mis amigos (as): Rocío Vera Mera, Heber Mozombite Cashú, Ylda Pauca Ventura y Lourdes Javier Pisco. Gracias, por la amabilidad, la gentileza, su apoyo y compartir una bonita amistad.

“Gracias a todos por su apoyo incondicional”

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	Moringa.....	3
2.1.1.	Generalidades.....	3
2.1.2.	Clasificación taxonómica.....	3
2.1.3.	Composición química de las semillas.....	4
2.1.4.	Caracterización de la torta de moringa.....	4
2.2.	La moringa como coagulante natural.....	5
2.2.1.	Actividad de coagulación de la moringa en la remoción de la turbidez.....	5
2.2.2.	Características del coagulante de moringa.....	6
2.2.3.	Métodos de extracción del coagulante de moringa.....	7
2.2.4.	Características del extracto de moringa en cloruro de sodio 1M.....	9
2.3.	Mecanismo de coagulación - floculación.....	9
2.4.	Componentes activos de la coagulación obtenidos de la moringa.....	11
2.5.	Aguas residuales.....	12
2.5.1.	Parámetros de calidad de agua.....	14
2.6.	Antecedentes del uso de la moringa en el tratamiento de aguas.....	19
2.7.	Legislación ambiental sobre el manejo de aguas residuales industriales.....	21
2.8.	Metodología de superficie de respuesta (MRS).....	23
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1.	Lugar de ejecución.....	25
3.2.	Materiales y Métodos.....	25
3.2.1.	Materiales.....	25
3.2.2.	Métodos de análisis.....	27
a.	Análisis químico proximal de la torta de moringa.....	27
b.	Caracterización del coagulante.....	28
c.	Características físico químicas de efluentes de la producción de néctar de maracuyá.....	29
3.3.	Metodología de la investigación.....	30
3.3.1.	Recolección de la muestra.....	30
3.3.2.	Análisis de laboratorio.....	30
3.4.	Diseño experimental.....	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1.	Análisis proximal de la torta de semilla de moringa.....	39
4.2.	Caracterización del extracto de moringa.....	40

4.2.1.	Peso molecular de las proteínas solubles presentes en el coagulante.....	40
4.3.	Características físico- químicos de efluentes de la producción de néctar de maracuyá	42
4.3.1.	Características físico- químicos de efluentes de la producción de néctar de maracuyá sin tratamiento	42
4.3.2.	Efecto del extracto de moringa en el tratamiento de efluentes de la producción de néctar de maracuyá con tratamiento.....	43
V.	CONCLUSIONES.....	55
VI.	RECOMENDACIONES	56
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	57
VIII.	ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Análisis proximal de las semillas de Moringa.....	4
Tabla 2: Caracterización de la torta residual de moringa.....	4
Tabla 3: Formas de la moringa en su actividad de coagulación	6
Tabla 4: Características de los extractos crudos de moringa.....	7
Tabla 5: Fuentes bibliográficas sobre la extracción de las proteínas de la semilla de moringa	8
Tabla 6: Características del extracto de moringa en cloruro de sodio	9
Tabla 7: Contaminantes principales de diferentes tipos de industrias	13
Tabla 8: Características de las aguas residuales de las plantas procesadoras de frutas	13
Tabla 9: Caracterización de los efluentes de la procesadora de frutas antes y después del tratamiento de coagulación-floculación	14
Tabla 10: Valores de DBO ₅ y DQO para diferentes alimentos.....	19
Tabla 11: Resumen de los resultados experimentales para las diferentes concentraciones de semilla de moringa y los diferentes niveles de turbidez iniciales	20
Tabla 12: Valores máximos permisibles de aguas residuales no domésticas	22
Tabla 13: Valores máximos permisibles de aguas residuales no domésticas	22
Tabla 14: Resumen de los variables naturales y codificadas.....	38
Tabla 15: Diseño Central Compuesto de los niveles de turbidez y los niveles de dosis utilizada en la remoción de la turbidez del agua residual de la producción de néctar de maracuyá	38
Tabla 16: Análisis químico proximal de la torta de semilla de moringa.	40
Tabla 17: Características físico- químicos de efluentes de la producción de néctar de maracuyá sin tratamiento	43
Tabla 18: Características físico – química de efluentes de la producción de néctar de maracuyá con tratamiento	44
Tabla 19: Camino de ascenso más pronunciado desde el análisis de la cresta, en la predicción del porcentaje de remoción de la turbidez	48
Tabla 20: Camino de ascenso más pronunciado desde el análisis de la cresta, en la predicción de la remoción del color.....	51
Tabla 21: Camino de ascenso más pronunciado desde el análisis de la cresta, en la predicción de conductividad.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Formación de puentes entre partículas en presencia de polímeros orgánicos.	11
Figura 2: Flujo de operaciones para la obtención del coagulante de torta de semilla de moringa.	32
Figura 3: Flujo de operaciones para la remoción de la turbidez efluentes de la producción de néctar de maracuyá.	34
Figura 4: Equipo de pruebas de jarras.	35
Figura 5: Partes de la toma de muestra.	36
Figura 6: Fraccionamiento electroforético de proteínas al 12 % T: 1= Coagulante de moringa extraído a 35 minutos y Std= Marcador de peso molecular.	41
Figura 7: Fraccionamiento electroforético de proteínas al 15 %T: 1= Coagulante de moringa extraído a 35 minutos y Std= Marcador de peso molecular.	42
Figura 8: El pH en función de la turbidez y dosis del extracto de moringa.	45
Figura 9: Porcentaje de remoción de turbidez del efluente en función de la turbidez y dosis del extracto de moringa.	47
Figura 10: Porcentaje de remoción de color en función de la turbidez y dosis del extracto de moringa.	50
Figura 11: Diferentes niveles de dosis del extracto de moringa con diferentes niveles de turbidez sobre la conductividad residual de efluentes.	53

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Modelo estadístico del porcentaje de la remoción de la turbidez de efluentes.	64
ANEXO 2: Análisis de variancia del porcentaje de remoción de la turbidez de efluentes.	64
ANEXO 3: Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada	65
ANEXO 4: Modelo estadístico de la remoción de color residual de efluentes.	66
ANEXO 5: Análisis de variancia de la remoción de color residual de efluentes.	66
ANEXO 6: Resultados de la remoción de color residual de efluentes.....	67
ANEXO 7: Modelo estadístico de la conductividad eléctrica residual (mS/cm) del agua tratada.....	68
ANEXO 8: Análisis de variancia de la conductividad eléctrica residual (mS/cm) del agua tratada.....	68
ANEXO 9: Resultados de la conductividad eléctrica residual (mS/cm) del agua tratada...	69

RESUMEN

La presente investigación, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del extracto de moringa (*Moringa oleifera* Lam) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá. Los resultados fueron analizados con el software R, el diseño experimental fue generado por la función CCD (diseño central compuesto) con seis puntos centrales y el análisis de datos se llevó a cabo en el paquete RSM (Método de superficie de respuesta), se trabajó cinco niveles, siendo los factores: turbidez del efluente (101, 170, 335, 500 y 568) NTU (Unidad nefelométricas de turbiedad) y las dosis del extracto de moringa (134.4, 180, 290, 400, 445.6 mg/L) y como variable respuesta el porcentaje de remoción de la turbidez del efluente. Además, se analizaron los parámetros físico-químicos: pH, turbidez, color y la conductividad eléctrica. Previamente se analizó la torta de Moringa que contiene; 45.866% de proteína, 17.710% de grasa, 3.201% de fibra, 4.642% de cenizas, 20.981% carbohidratos y 7.600% de humedad. El extracto de moringa se elaboró a una concentración de 20000 mg/L, se obtuvo por agitación a 35 minutos a temperatura ambiente. Los tratamientos de 335 NTU y 290 mg/L; 500 NTU y 400 mg/L, permitieron una reducción de turbidez de 92.25 % y 94.16 %. Además, el extracto de moringa se caracterizó, con el método de electroforesis en gel de poliacrilamida (PAGE- SDS) encontrando una banda principal de polipéptido de 6.5 kDa que serían los principales responsables de la coagulación – floculación. Así mismo, el valor de pH no presentó modificaciones significativas, manteniéndose entre (2.74- 3.64); con dosis de 290 y 400 mg/L la remoción de color fue de 71.57% y 79.80% respectivamente y la conductividad de 2.43 y 2.96 mS/cm respectivamente.

Palabras claves: Efluente de maracuyá, extracto de semilla de moringa, remoción de la turbidez.

ABSTRACT

This research aimed to determine the efficiency of moringa (*Moringa oleifera Lam*) extract to remove the turbidity of the effluents of the passion fruit nectar production. The response surface methodology was used using central composite design (CCD) with six central points. The data analysis was carried out in the RSM package of R software. The following factors at the five levels were used: effluent turbidity -ET- (101, 170, 335, 500 and 568) NTU (Nephelometric Turbidity Unit) and moringa extracts -ED- (134.4, 180, 290, 400 and 445.6 mg/L) and as response the variation of the effluent turbidity in %. In addition, physicochemical parameters of the effluent such as pH, turbidity, color and electrical conductivity were also analyzed. Moringa cake contains 45.866 % protein, 17.710 % fat, 3.201 % fiber, 4.642 % ash, 20.981 carbohydrates and 7.600 of moisture. The moringa extract (20,000 mg/L) was obtained by 35 min of agitation at room temperature. The following treatments 290 ED and 335 NTU, and 400 ED and 500 NTU reduced the turbidity to 92.25% and 94.16%. Moreover, ED were characterized by the polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE-SDS) method. The ED revealed that a polypeptide 6.5 kDa might be the main coagulant. The pH (2.74- 3.64) of the effluents from the production of passion fruit nectar did not changed the ED 290 and 400 mg/L. The Color was removed by 71.57 % for ED 290 mg/L and 79.80% for ED 400 mg/L, whereas electrical conductivity was 2.43 and 2.96 mS/cm, respectively.

Key words: Effluent of passion fruit, extract of Moringa seed, *Moringa oleifera*, turbidity removal.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, surge la necesidad de investigar a los coagulantes naturales por su capacidad de clarificar la turbiedad del agua residual, siendo uno de ellos la *Moringa oleífera*.

La *Moringa oleífera* es originaria de la India y Bangladesh (Radovich, 2009). Se cultiva en África, Asia tropical, América Latina, el Caribe, Florida y las islas del Pacífico (FAO, 2018). Posee un alto contenido de proteínas en sus hojas, ramas y tallos. Sus frutos y flores, contienen vitaminas A, B y C y proteínas. Las semillas contiene entre 30 y 42 por ciento de aceite y su torta contiene un 60 por ciento de proteína (Foidl *et al.* 2001).

Ndabigengesere *et al.* (1995), las semillas de moringa se usan como un agente clarificador de diferentes tipos de aguas con diversos grados de turbidez, debido a la presencia del compuesto activo, se caracteriza como un péptido catiónico de peso molecular aproximado a 13 kDa y punto isoeléctrico entre 10 y 11. Además Pérez *et al.* (2010), citado por Arias (2014) indican que la torta de moringa puede ser utilizado como: fertilizante para el suelo por su alto contenido en nitrógeno, alimento para animales por su alto contenido en proteína bruta (60 por ciento), o para el tratamiento del agua, por que presenta un polielectrolito catiónico.

Folkard y Sutherland (1996) mencionan que los países en vías de desarrollo, las personas utilizan los ríos como su principal fuente de agua. Para eliminar el material sólido suspendido del agua, utilizan la semilla de *Moringa oleífera*, como coagulante natural.

Generalmente para el tratamiento del agua potable y el agua residual, utilizan el sulfato de aluminio (Al_2SO_4). Ndabigengesere *et al.* (1995) sostienen que el aluminio podría estar implicado en la aparición de enfermedades como el Alzheimer, debido a la presencia de aluminio residual en el agua. Por este motivo, se ha generado en estos últimos años, una corriente para investigar a los coagulantes naturales, a fin de sustituir total o parcialmente a los coagulantes químicos. Okuda *et al.* (2001) informan que los coagulantes naturales

presenta más ventajas que los coagulantes químicos, ya que ellos son biodegradables, generan un menor volumen de lodos, no necesita corrección en el pH, no corroen las tuberías y además podrían ser más seguros para el ser humano. Se han adaptado una serie de tecnologías tradicionales para eliminar la turbidez del agua en el ámbito doméstico, utilizando extractos naturales, debido a sus propiedades coagulantes, siendo de gran ayuda para estos países que no tienen los suficientes recursos ni la tecnología para el tratamiento de éstas aguas servidas (García 2007).

Los objetivos de la presente investigación determinarán:

- La eficiencia del extracto de Moringa (*Moringa oleifera*) en la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá,
- La dosificación adecuada del extracto de moringa (*Moringa oleifera*) para maximizar la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Moringa

2.1.1. Generalidades

Según Radovich (2009), el marango (*Moringa oleífera* Lam- Moringaceae) es originario de India y Bangladesh. En América Central fue introducido en los años 1920 como planta ornamental y para cercas vivas (Liñan, 2010). Se cultiva en África, Asia, América Latina y en casi todos los países tropicales (Santos *et al.* 2015). El marango se encuentra diseminado en una gran parte del planeta (Foidl *et al.* 1999).

Liñan (2010), es un árbol de crecimiento rápido que puede alcanzar de siete a doce metros de altura y de veinte a cuarenta centímetros de diámetro. Además presenta un ciclo de vida relativamente corto, con un promedio de 20 años (Radovich, 2009). Foidl *et al.* (1999) indican que las semillas son de forma redonda y color castaño oscuro con 3 alas blanquecinas. Cada árbol puede producir de 15000 a 25000 semillas por año.

El árbol de Marango, posee un alto contenido de proteínas en sus hojas, ramas y tallos. Sus frutos y flores contienen vitaminas A, B y C y proteínas. Las semillas contienen entre 30 y 42% de aceite y su torta contiene un 60% de proteína (Foidl *et al.* 2001). Así mismo, Anwar y Bhangar (2003), citado por Silva (2012) mencionan que el residuo obtenido de la extracción de aceite de la semilla de moringa, presenta un alto contenido de proteína, que va desde 26,5 a 32%. Este residuo se podría añadir a la dieta de aves de corral, utilizar como fertilizante. También se puede utilizar como un floculante para la clarificación del agua (Radovich, 2009).

2.1.2. Clasificación taxonómica

Según Liñan (2010), la clasificación taxonómica de la moringa es:

FAMILIA :*Moringaceas*
ORIGEN :*Capparidales*
CLASE :*Magnoleopsida*

GÉNERO : *Moringa*

ESPECIE : *oleífera*.

2.1.3. Composición química de las semillas

Liñan (2010) indica que todas las partes de la moringa, presenta un alto contenido de nutrientes como proteínas, grasa, carbohidratos, vitaminas y minerales. En la Tabla 1 se observa los resultados del análisis proximal de las semillas de moringa.

Tabla 1: Análisis proximal de las semillas de Moringa

Análisis proximal	Semillas (base húmeda)
Humedad (%)	47.2
Proteínas (%)	17.5
Grasas (%)	15.1
Cenizas (%)	2.1
Carbohidrato (%)	18.1
Calcio (mg/ 100 g)	3.4
Potasio (mg/100 g)	18.3
Hierro (mg/100 g)	7.1
Carotenos (µg/100g)	114.4
Vitamina C (mg/100 g)	0.1

Fuente: Liñan (2010).

2.1.4. Caracterización de la torta de moringa

Aguilar *et al.* (2009), citados por García *et al.* (2013) reportan los resultados del análisis proximal de la torta residual de la semilla de moringa, obtenida tras el proceso de extracción del aceite (Tabla 2).

Tabla 2: Caracterización de la torta residual de moringa

Características	Composición (%) (base húmeda)
Humedad	7.7
Proteínas	60.3
Lípidos totales	1.03
Cenizas	6.05

Fuente: Aguilar *et al.* (2009), citados por García *et al.* (2013).

2.2. La moringa como coagulante natural

Las semillas de moringa son uno de los mejores coagulantes naturales, se usa como un agente clarificador de diferentes tipos de aguas con diversos grados de turbidez, debido a la presencia del compuesto activo, se caracteriza como un péptido catiónico de peso molecular aproximado a 13 kDa y punto isoeléctrico entre 10 y 11 (Ndabigengesere *et al.* 1995).

El marango contiene cantidades significativas de proteínas solubles de bajo peso molecular. Estas proteínas presentan cargas positivas, cuando se le añaden al agua, actúan como imanes atrayendo las partículas de cargas negativas como por ejemplo la arcilla, limo, las bacterias, etc. De esta manera ocurre la coagulación y floculación, las proteínas se unen a las partículas del agua, formando flóculos. Estos flóculos son fácilmente removidos por sedimentación o filtración (Eiler, 1978, citado por Aho y Lagasi, 2012).

Tras el proceso de prensado de las semillas para la extracción del aceite, se obtiene un residuo conocido como torta, que puede ser utilizado como: fertilizante para el suelo por su alto contenido en nitrógeno, alimento para animales por su alto contenido en proteína bruta (60%), o para el tratamiento del agua, por que presenta un polielectrolito catiónico (Pérez *et al.* 2010, citado por Arias, 2014).

2.2.1. Actividad de coagulación de la moringa en la remoción de la turbidez

Ndabigengesere *et al.* (1995) define que la actividad de coagulación es una evaluación cualitativa, la propiedad del coagulante se manifiesta mediante la formación de flóculos visible. La actividad de coagulación fue calificada de " presente", cuando la remoción de la turbidez fue del 80-90%. Por el contrario, si la remoción de la turbidez fue por debajo del 30 %, fue calificado como "ausente" (Ndabigengesere *et al.* 1995). En el Tabla 3 se observa la actividad de coagulación de la moringa (vainas verdes, vainas secas, corteza de vainas y corteza de semillas).

Tabla 3: Formas de la moringa en su actividad de coagulación

Formas de moringa	Actividad de coagulación
Vainas verdes:	
-Vainas enteras	ausente
- Semillas	ausente
- Corteza de vainas verdes	ausente
- vainas verdes secadas	ausente
Vainas secadas:	
--Vainas enteras	ausente
--Semillas no descascaradas	
No filtrado	presente
Filtrado	presente
Residuos sólidos	ausente
--Semillas descascaradas	
No filtrado	presente
Filtrado	presente
Residuos sólidos	ausente
Corteza de vainas	ausente
Corteza de semillas	ausente

Fuente: Ndabigengesere *et al.* (1995).

2.2.2. Características del coagulante de moringa

Ndabigengesere y Narasiah (1998) investigaron las características del coagulante de las semillas de moringa (descascaradas y no descascaradas) (Tabla 4). Las semillas utilizadas fueron obtenidas de Burundi en África Central. Estas semillas fueron seleccionadas, molidas hasta obtener un polvo fino, luego se utilizó el éter de petróleo como solvente para la extracción de los aceites vegetales, finalmente los agentes activos de la coagulación fueron extraídos del polvo, utilizaron 5 g de polvo en 100 ml de agua de grifo. Además, los parámetros de calidad de estos extractos crudos de moringa, fueron analizados mediante los Métodos Estándares (APHA *et al.* 1992).

Tabla 4: Características de los extractos crudos de moringa

Parámetro	Semillas descascaradas	Semillas no descascaradas
pH	6.4	5.8
Conductividad ($\mu\text{mho cm}^{-1}$)	1500.0	1700.0
Alkalinity (mg L^{-1} como CaCO_3)	246.0	60.0
Ca^{2+} (mg L^{-1})	14.5	15.2
Mg^{2+} (mg L^{-1})	47.9	30.6
Na^{+} (mg L^{-1})	13.4	24.4
K^{+} (mg L^{-1})	42.9	63.6
Fe^{3+} (mg L^{-1})	3.0	5.0
Cl^{-} (mg L^{-1})	19.0	11.0
SO_4^{2-} (mg L^{-1})	9.0	8.0
NO_3^{-} (mg L^{-1})	110.0	140.0
PO_4^{3-} (mg L^{-1})	208.0	187.0
Carbono Orgánico Total- TOC (mg L^{-1})	4760.0	3678.0
Demanda Química de oxígeno (mg L^{-1})	15000.0	9630.0
Nitrógeno total Kjeldahl -TKN (mg L^{-1})	1193.0	802.0

Fuente: Ndabigengesere y Narasiah (1998).

2.2.3. Métodos de extracción del coagulante de moringa

Diversos investigadores, utilizan diferentes proporciones de semilla de moringa y diferentes tipos de disolvente como el agua de grifo, agua destilada y solución salina, para la elaboración del extracto de moringa. Estos extractos de moringa son evaluados en la remoción de la turbidez del agua turbia. En la Tabla 5 se observa diferentes métodos empleados para la elaboración del extracto de moringa.

Tabla 5: Fuentes bibliográficas sobre la extracción de las proteínas de la semilla de moringa

FUENTES	SOLVENTE	CONDICIONES
Ndabigengesere y Narasiah, 1998	Agua	5 g de polvo de semilla de Moringa oleifera descascarada sin grasa/ 100 ml agua de grifo.
	Agua	5 g de polvo de semilla de Moringa oleifera no descascarada sin grasa/ 100 ml agua de grifo.
Okuda <i>et al.</i> 1999	solución salina	5 g de polvo de semilla de Moringa oleifera/ 500 ml de solución salina 1 M.
Okuda <i>et al.</i> 2001	solución salina	10 g de polvo de semilla de Moringa oleifera/ 1000 ml de solución salina 1 M de NaCl.
Ghebremichael, 2005	Agua destilada	5 g de polvo de semilla de Moringa oleifera desgrasada/ 100 ml de agua destilada.
Caldera <i>et al.</i> 2007	Agua destilada	2.5 g de polvo de semilla de Moringa oleifera/ 250 ml de agua destilada.
Morales <i>et al.</i> 2009	Agua	200 g de polvo de semilla de Moringa oleifera/1000 ml agua.
Nkurunziza <i>et al.</i> 2009	solución salina	3 g de polvo de semilla de Moringa oleifera/ 100 ml de solución salina 1 M NaCl.
Madrona <i>et al.</i> 2010, citado por Nishi <i>et al.</i> 2011	Agua destilada	1 g de semilla de Moringa oleifera triturada/ 100 ml de agua destilada.
Garcia <i>et al.</i> 2013	Agua destilada	0.49 g de polvo de semilla de Moringa oleifera desgrasada / 700 ml de agua destilada.
Sandoval y Laines, 2013	Agua destilada	10 g de polvo de semilla de Moringa oleifera sin grasa/1000 ml agua destilada.
	solución salina	10 g de polvo de semilla de Moringa oleifera sin grasa/1000 ml de NaCl 1 M.
Feria <i>et al.</i> 2014	Agua destilada	1 g de torta de semilla de Moringa oleifera/ 50 ml agua destilada.
	solución salina	1 g de torta de semilla de Moringa oleifera/ 50 ml de solución salina 1 M.
Kunal (s/a)	Agua	2 g de polvo de semilla de Moringa oleifera/ 100 ml de agua de grifo.

2.2.4. Características del extracto de moringa en cloruro de sodio 1M

Okuda *et al.* (1999) en su investigación determinaron las concentraciones del extracto de moringa en solución salina (NaCl 1 M) antes y después de la purificación. En la Tabla 6 se observa, que la relación de la proteína y el carbono orgánico total (TCO) se incrementa en la purificación. Concluyeron que las proteínas son los componentes activos responsables de la coagulación.

Tabla 6: Características del extracto de moringa en cloruro de sodio

	Carbono Orgánico Total (TOC) (mg de carbono L ⁻¹)	Proteínas (mg BSA L ⁻¹)	Azúcares (mg de glucosa L ⁻¹)
Antes de la purificación	1735	3166	928
Después de la purificación	260	739	0

BSA: Albumina de suero de bovino.

Fuente: Okuda *et al.* (1999).

2.3. Mecanismo de coagulación - floculación

Según Andía (2000), la coagulación es un proceso de la desestabilización química de las partículas coloidales, que se producen al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y es imposible realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada (Aguilar, 2010). Por ello indica que la coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado.

Los coagulantes pueden ser clasificados como inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y naturales (Okuda *et al.* 2001). Los coagulantes más usados en el tratamiento de aguas residuales son las sales de aluminio o de hierro, en algunos casos se usan productos sintéticos como polielectrolitos catiónicos, la ventaja de estos polielectrolitos pueden generar menor cantidad de lodo (Romero, 2012).

La adición de iones son determinantes del potencial, porque va a permitir que se produzca la coagulación. Así mismo la adición de bases o ácidos fuertes, que genere la reducción de los valores próximos a cero, la carga de los hidróxidos u óxidos metálicos, va generar que se dé la coagulación. También se pueden añadirse electrolitos para coagular suspensiones coloidales (Romero, 2012).

La floculación es el proceso que ocurre simultáneamente después de la coagulación. Facilita la aglomeración de los flóculos, con el objetivo de aumentar el tamaño y peso necesario para sedimentar las partículas con facilidad. Este proceso es favorecido por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos. Un mezclado muy intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos (Aguilar, 2010).

Según Romero (2012), para lograr agregación de partículas se debe reducir las cargas o superar el efecto de estas. Esto se realiza mediante diferentes tipos de mecanismos:

- 1) La adición de iones que determinen el potencial, los cuales serán absorbidos o reaccionarán con la superficie o la adición de electrolitos.
- 2) La adición de moléculas orgánicas de cadena larga cuyas subunidades sean ionizables; estos son llamando polielectrolitos, que producen la eliminación de partículas por medio de la absorción y la formación de puentes entre ellos.
- 3) La adición de productos químicos que formen iones metálicos hidrolizados.

Los polielectrolitos pueden ser naturales o sintéticos. Los naturales son polímeros de origen biológico y derivados del almidón. Los sintéticos consisten en monómeros simples que polimerizan para formar sustancias de alto peso molecular. Existen tres tipos polielectrolitos, pueden ser aniónicos, catiónicos o no iónicos (Metcalf & Eddy, 1995). En la Figura 1 se observa la acción del polímero sobre las partículas del agua residual.

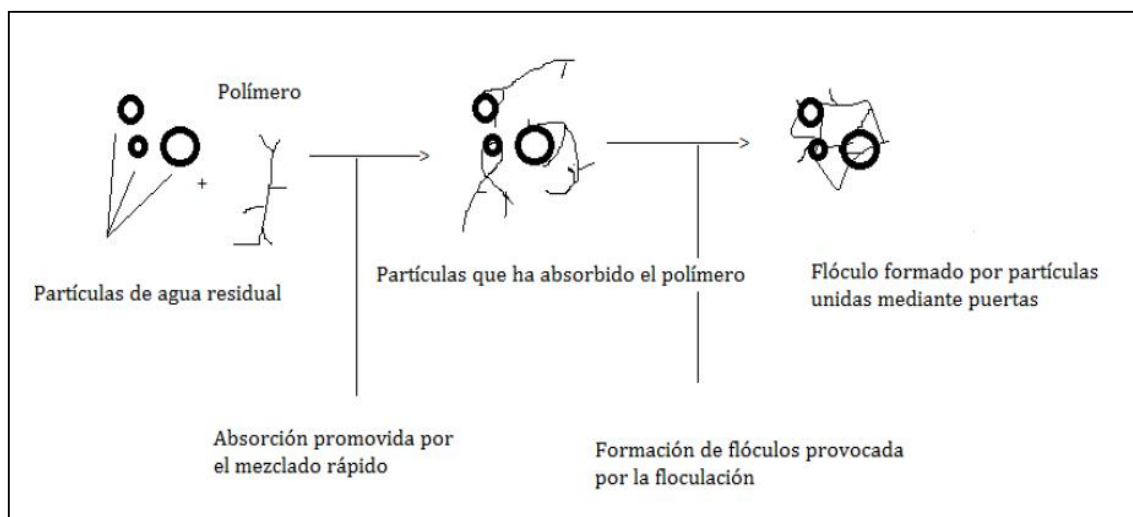


Figura 1: Formación de puentes entre partículas en presencia de polímeros orgánicos.

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

2.4. Componentes activos de la coagulación obtenidos de la moringa

Ndabigengesere *et al.* (1995), los agentes activos del extracto acuoso de la moringa son proteínas catiónicas solubles en agua. La determinación de su peso molecular fueron analizados por diferentes técnicas, uno de ellos fue mediante la electroforesis en gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) en condiciones reductoras y no reductoras, usando geles de 15 %. Los resultados mostraron que la proteína natal era una dimérica de 13 kDa con subunidades de aproximadamente 6.5 kDa. Resultados similares fueron reportados por Gassen *et al.* (1990) citados por Ndabigengesere *et al.* (1995) quienes encontraron que las proteínas activas tenían un peso molecular de 6.5 kDa.

Okuda *et al.* (2001), indican que el componente activo de coagulación de MOC-SC-pc (coagulante de *Moringa oleifera* en solución salina purificada) tiene características diferentes de la que se extrae el coagulante de *Moringa oleifera* utilizando agua destilada (MOC-DW). Concluyendo que el MOC-SC-pc no es proteína, ni polisacárido, ni lípido, es un polielectrolito orgánico con peso molecular aproximadamente 3.0 kDa. Por otro lado Ghebremichael *et al.* (2005), la masa molecular del extracto de moringa purificado determinado por SDS-PAGE en un mini gel de 10 %, fue menor de 6.5 kDa. Además, informaron que tanto los coagulantes del extracto de moringa extraídas en solución salina, como el extracto de moringa extraídas con agua, tuvieron características similares. Gassenchmidt *et al.* (1995), citado por Hassan (2013), indica que los componentes activos

de moringa, como coagulante, son péptidos catiónicos de peso molecular que va entre 6.5 - 7.0 kDa y pI mayor que 10.

2.5. Aguas residuales

Orozco *et al.* (2004), el agua residual como aquellas aguas que han sido utilizadas, produciendo alteraciones en su composición, lo que conlleva una pérdida de calidad y una necesidad del tratamiento o depuración. Además indica que los vertidos de las aguas residuales presentan una amenaza para los seres vivos y el medio ambiente, ya que producen alteración de las características del medio natural donde se produce la descarga.

Existen tres tipos de aguas residuales que se clasifican en función de sus usos: aguas residuales urbanas, industriales y agropecuarias. Así mismo, la composición de estas aguas serán específicas, de acuerdo al tipo de industria y los métodos de producción correspondiente (Orozco *et al.*, 2004). Además Romero (1999), informa que manejar las aguas residuales industriales es muy compleja, debido a las diferentes características que presentan, ya que varían dependiendo del tipo de industria, régimen de operación, época del año, etc. Por este motivo es necesario determinar las diferentes características del agua residual. A la vez Metcalf & Eddy (1995), la naturaleza del agua residual es fundamental para el tratamiento de las aguas residuales, así como la gestión de la calidad medioambiental.

Según Picazo (1995), los vertidos generados por el sector agroalimentario, se caracterizan por presentar una elevada carga orgánica biodegradable, un cantidad moderada de sólidos en suspensión y la escasa o nula presencia de contaminantes tóxicos y/o peligrosos. Además, el mismo autor indica que la cantidad de materia orgánica que aportan los distintos sectores es variada.

Tabla 7, se muestran los contaminantes más importantes en los diferentes tipos de las industrias, considerando los contaminantes principales y secundarios. En la Tabla 8 se observa los valores promedios de las aguas residuales totales de la planta de procesamiento de frutas, en todas sus líneas de producción. Además, en la Tabla 9 se observan diferentes características del agua residual como el pH, turbidez y la demanda biológica de oxígeno de la planta procesadora de fruta (mango), antes y después del tratamiento químico.

Tabla 7: Contaminantes principales de diferentes tipos de industrias

Industria	contaminantes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Acero	X	XX	XX	X	V	V	XX	XX	-	-	V	X
Alimentación	XX	XX	XX	XX	XX	XX	V	-	V	-	-	V
Automóvil	-	-	XX	XX	XX	XX	XX	X	-	XX	-	X
Coque y gas	X	X	XX	XX	XX	XX	XX	-	-	-	XX	XX
Curtidos	X	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	V	-	-	X
Granja ganado	-	-	XX	XX	-	-	-	-	-	-	-	X
Minería	V	V	XX	XX	XX	XX	V	XX	-	-	V	XX
Papel	XX	X	X	X	XX	XX	-	V	X	-	XX	X
Petróleo	-	X	X	X	XX	XX	XX	V	X	-	X	X
Textil	XX	X	X	-	-	-	X	-	X	X	-	X

1 Color	7 Aceites y grasas	XX Gran importancia
2 Calor	8 metales pesados	X Importancia media
3 Sólidos en suspensión	9 Tóxicos orgánicos	- Sin importancia
4 Ácidos o bases	10 Detergentes	V Variable en la indus (puede contribuir)
5 DQO	11 Fenoles	
6 DBO	12 Salinidad	

Fuente: Orozco *et al.* (2004).

Tabla 8: Características de las aguas residuales de las plantas procesadoras de frutas

Agua residual	Valores de pH	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)	Nitrógeno total (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Fuente
Planta procesadora de frutas	5.1- 6.1	2095- 2735	4045- 8588	13.6 - 26.9	8.7 - 22.6	Asociación Alemana de Saneamiento (1989)
Zumo de manzana	-	2500	5500	26.5	21	Llaneza (2012)

Tabla 9: Caracterización de los efluentes de la procesadora de frutas antes y después del tratamiento de coagulación-floculación

N° de muestras	Antes del tratamiento			Después del tratamiento			
				Al ₂ (SO ₄) ³		Polycat CS-5460	
	Turbidez (NTU)	DBO (mg O ₂ /L)	pH	Turbidez (NTU)	DBO (mg O ₂ /L)	Turbidez (NTU)	DBO (mg O ₂ /L)
1	168	4380	5.5	5.2	218	4.0	158
2	176	4670	4.8	6.0	265	4.5	126
3	183	5020	4.3	6.5	300	3.0	192
4	205	5650	5.0	6.8	383	2.5	189
5	179	4880	4.6	5.5	338	3.0	176
6	188	5320	5.0	6.7	310	3.5	168
7	185	5100	5.1	6.1	347	3.1	159
8	181	4970	4.9	5.4	286	5.0	235
9	192	5400	4.7	6.0	305	2.8	171
10	199	5450	4.2	5.5	360	3.2	164

NTU: Unidades nefelométricas

Fuente: Alcarraz & Inche (2010).

2.5.1. Parámetros de calidad de agua

La calidad de agua está determinada por un conjunto de valores límites de las propiedades físicas, químicas y biológicas, de acuerdo a la procedencia y uso.

a) Parámetros físicos

- **Temperatura**

La temperatura del agua es un parámetro importante que incide sobre el desarrollo de la vida acuática y las reacciones químicas y velocidades de reacción. Además el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento de las velocidades de reacciones químicas, produce un aumento de la temperatura. La temperatura del agua residual suele ser más alta que la temperatura de suministro, debido a los diferentes procesos a los que se somete el agua (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Color**

Según Orozco *et al.* (2004), los colores de las aguas residuales pueden ser debidos a multitud de compuestos orgánicos e inorgánicos, que pueden estar en elevadas concentraciones: sales de cromo, colorantes industriales, aceites, etc. Además las aguas residuales urbanas, recientes presentan un color gris, que se va pasando a oscuro e incluso a negro.

- **Turbiedad**

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado (CEPIS, 2004). La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad.

- **Conductividad**

Orozco *et al.* (2004), la conductividad es la medida de la resistencia que opone el agua al paso de la corriente eléctrica. Este parámetro depende de la concentración total de las sustancias iónicas disueltas en el agua y la temperatura a la cual se hace la medida.

- **Sólidos totales**

Según CEPIS (2004), los sólidos corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105 °C.

b) Parámetros químicos

- **Olores**

Los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, tiende a ser desagradable, aun así, es más tolerable que el olor del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es debido a la degradación de sulfatos a sulfitos y sulfuros por acción de microorganismos anaeróbicos. Las aguas residuales industriales

pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento (Metcalf & Eddy, 1995).

- **pH**

CEPIS (2004), el pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9. Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes (CEPIS, 2004).

- **Alcalinidad**

La alcalinidad del agua es su capacidad para neutralizar ácidos constituyendo la suma de todas las bases titulables. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato, carbonato e hidróxidos, componentes del agua natural por lo que suele tomarse como indicación de estos componentes. La alcalinidad se puede corregir con tratamiento con ácido, o desmineralización por intercambio iónico (Rigola, 1990).

- **Calcio**

El calcio contribuye a la dureza total del agua y a la formación de incrustaciones. El contenido de calcio puede encontrarse en un rango de 0 a varios cientos de miligramos por litro. Por ejemplo las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm, o incluso 600 ppm, el agua de mar contiene 400 ppm. Además la eliminación del calcio se realiza por precipitación e intercambio iónico (Rigola, 1990).

- **Dureza**

La determinación de la dureza es una medida analítica útil e importante, porque va a permite conocer la calidad del agua. La dureza se debe a la presencia de sales disueltas

de calcio y magnesio. Siendo la principal fuente de depósitos e incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor, tuberías, etc (Rigola, 1990).

- **Cloruros**

El ion cloruro es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua. Suele ser asociado con al ion sodio, especialmente en aguas muy salinas. El contenido de cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola e industrial. Por ejemplo las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros y el agua de mar contiene 20000 ppm. Se valora con nitratos de plata usando cromato de potásico como indicador (Rigola, 1990).

c) Parámetros de contaminación por materia orgánica

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

Orozco *et al.* (2004), define que la DBO₅, es un parámetro que mide la concentración de materia orgánica biodegradable. Se determina midiendo la disminución en la concentración de oxígeno disuelto del agua, después de incubar una muestra durante 5 días a temperatura de 20 °C. La reacción se lleva a cabo en la oscuridad, para evitar la producción de oxígeno por las algas, a dilución adecuada, manteniendo el pH entre 7 - 7,5. Las unidades de medida son mg O₂ /L (ppm O₂).

Orozco *et al.* (2004), señalan que los valores elevados de DBO₅ indican una alta concentración de materia orgánica biodegradable. Además reportan algunos valores de la DBO₅ en diferentes muestras de aguas:

- Agua limpia: DBO₅ < 3 mg O₂ /L
- Limpieza intermedia: DBO₅ 3 - 5 mg O₂ /L
- Agua contaminada: DBO₅ > 8 mg O₂ /L
- Residuos urbanos: DBO₅ 100 - 400 mg O₂ /L
- Industria alimentaria: DBO₅ hasta 10000 mg O₂ /L

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

El DQO es otro parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de oxidación química contenida en el agua. En esta medida se sustituyen los microorganismos oxidantes por un poderoso agente químico como el dicromato de potasio (DQO - Cr) o

el permanganato de potasio (DQO –Mn) en medio ácido. La ventaja de este método es una oxidación rápida y da una idea cuantitativa de la cantidad de sustancias susceptibles de oxidación que existen en el agua, inorgánicas u orgánicas. El resultado se expresa en mg O₂ /L, representando la cantidad de oxígeno equivalente al oxidante químico utilizado en la determinación (Orozco *et al.* 2004).

Orozco *et al.* (2004), indican que existe una relación entre la DBO₅ y la DQO. Los resultados de este cociente, nos van a dar una idea de la naturaleza de los contaminantes orgánicos existentes en el agua, estos son:

- DBO₅ / DQO < 0,2 indican presencia de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable.
- DBO₅ / DQO > 0,6 presencia predominante de contaminación orgánica de naturaleza biodegradable.

La DBO para todas las aguas residuales del procesamiento de alimentos es relativamente alta en comparación con otras industrias. Un valor elevado de DBO en las aguas residuales significa la presencia del material orgánico disuelto y/o sólidos en suspensión, minerales, el nitrógeno y el fósforo. La determinación de la DBO₅ y la DQO son muy importantes para la industria de procesamiento de alimentos, porque podría indicar las cantidades de producto perdido en el flujo de residuos (Unido, s/a).

La relación entre DBO₅ y DQO es variable, va depender el tipo de producto que se procesa. En la Tabla 10 se observa los valores de la DBO₅ y DQO del agua residual para los diferentes tipos de alimentos.

Tabla 10: Valores de DBO₅ y DQO para diferentes alimentos

Diferentes procesamiento de alimentos	DBO₅ (mg O₂ / l)	DQO (mg O₂/L)	DBO₅/DQO
Productos de panadería	3200	7000	0.46
Procesamiento de leche	2700	4700	0.57
Mermeladas y jaleas	2400	4000	0.6
Envasado de carne	1433	2746	0.52
Especialidades de carne	530	900	0.59
Procesador de aves de corral	1306	1581	0.83

Fuente: Unido(s/a).

2.6. Antecedentes del uso de la moringa en el tratamiento de aguas

Ndabigengesere *et al.* (1995), utilizaron semilla de moringa al 5% en solución acuosa, luego la purificó. Preparó agua turbia sintética (caolín) con una turbidez inicial de 426 NTU. Utilizó el coagulante removiendo el 80 a 90% y con una concentración óptima de 500 mg/L de coagulante. A la vez, Nkurunziza *et al.* (2009), preparó una solución al 3% (3 g de polvo de moringa en 100 ml de solución 1 M de NaCl). Luego agitó vigorosamente durante 5 minutos, dejó reposar durante 2 horas y finalmente se filtró. Utilizó agua de río de Ruanda, reportaron sus resultados de la remoción de la turbidez para diferentes niveles de turbidez iniciales (Tabla 11). Se observa que en el agua con una turbiedad inicial del 50 NTU la remoción fue de 83,2%, mientras que el agua con alta turbiedad inicial de 450 NTU fue más alta la remoción de 99,8% con dosis de 150 mg /L; y dosis de 125 mg /L para otros niveles de turbidez analizadas.

Tabla 11: Resumen de los resultados experimentales para las diferentes concentraciones de semilla de moringa y los diferentes niveles de turbidez iniciales

Turbidez (NTU)	Remoción (%)	Concentración de semilla de <i>Moringa oleifera</i> (mg/L)											
		25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
50	Turbidez	87,5	89,7	85,5	89,9	93,1	95,0	85,6	86,3	83,2	88,7	86,7	85,6
	Color	88,7	88,8	86,6	89,3	91,8	92,8	89,6	89,6	88,6	90,6	90,3	90,0
150	Turbidez	96,3	97,7	97,8	98,4	98,4	98,6	97,8	97,8	97,9	97,6	97,2	96,7
	Color	88,6	93,8	94,2	95,3	96,0	95,5	94,0	93,9	94,1	93,9	93,6	93,4
250	Turbidez	98,8	99,2	99,1	99,3	99,4	99,3	99,3	99,2	99,0	99,3	98,9	99,1
	Color	95,5	97,0	97,0	97,2	97,4	96,9	97,2	97,1	96,8	97,3	97,1	97,2
350	Turbidez	99,1	99,5	99,7	99,7	99,7	99,6	99,6	99,6	99,5	99,3	99,3	99,3
	Color	97,1	97,3	97,6	97,4	97,3	97,3	97,1	97,3	97,3	97,4	97,3	97,0
450	Turbidez	99,7	99,6	99,7	99,7	99,8	99,8	99,7	99,7	99,6	99,7	99,7	99,7
	Color	98,6	98,5	98,5	98,8	98,9	98,4	98,7	98,7	98,6	98,8	98,7	98,8

Fuente: Nkurunziza *et al.* (2009).

Feria *et al.* (2014), compararon el sulfato de aluminio y la semilla de moringa (desengrasada y sin desengrasar) en la remoción de la turbidez. Utilizó sulfato de aluminio al 1%; para la preparación del coagulante natural usó: 10 ml de solución salina de NaCl, al 1.0% 0,10 gramos de polvo de semillas de moringa desengrasada, la solución se centrifugó durante 10 minutos a 6000 rpm, luego el líquido se filtró. El mismo procedimiento realizó, utilizando 0.10 gramos de polvo semillas de moringa sin desengrasar. Utilizaron dosis de coagulante desde 2.5 mg/L hasta 30 mg/L y se aplicaron a cada muestra tomada del río Sinú (Cordova) de diferentes turbiedades (24.56 UNT; 48.20 UNT; 66.00 UNT; 96.20 UNT; 174.33 UNT; 247.50 UNT; 320.00 UNT; 364.66 UNT). Informaron que utilizando el coagulante de moringa, para el agua turbia de 24.00 UNT y 66.00 UNT, la eficiencia de remoción está entre el 70 % y el 85 %, para el rango de dosis de 4.5mg/L y 17.5 mg/L. luego para el agua turbia de 230.00 UNT a 365.00 UNT, la remoción de la turbidez fueron 94.8 % y 98.4 % con dosis de 7 y 15 mg/L respectivamente. Mientras que utilizando el coagulante químico

(sulfato de aluminio), para turbidez menor a 60 NTU, mejor es la eficiencia de remoción frente al coagulante natural. Sin embargo, agua turbia mayor a 250 NTU, la remoción de la turbidez con los diferentes coagulante fue similar, removiendo aproximadamente el 94%. A la vez, concluyeron que no es necesario extraer las grasas de las semillas, cuando se prepara el coagulante en solución salina y se aplica en agua cruda de turbidez inicial entre 200 UNT y 360 UNT.

Así mismo, Chacón y Tobaru (2013), utilizaron polvo de semilla de moringa para remover la turbidez del agua de regadío de la UNALM. Recolectaron la muestra en recipientes de plástico de un litro y adicionaron 100; 200 y 300 mg.L⁻¹ de polvo de moringa. Obteniendo los mejores resultados de remoción de la turbidez con la dosis de 200 mg.L⁻¹ de polvo de semilla de moringa (1 NTU).

Madsen *et al.* (1987), citados por Vijay *et al.* (2012), utilizaron las semillas de moringa para llevar a cabo la coagulación y la reducción bacteriana, utilizando agua del Nilo en Sudán y observaron reducción de la turbidez de 80-99.5% acompañado por una reducción bacteriana de 1-4 unidades de registro (90-99.9%). Por otro lado, Sani (1990), citados por Vijay *et al.* (2012), utilizó moringa en el tratamiento de aguas de diferentes fuentes, con turbidez desde 100 a 800 NTU y 80 a 150 NTU, respectivamente, observando la reducción de la turbidez de 92-99%.

2.7. Legislación ambiental sobre el manejo de aguas residuales industriales

El DECRETO SUPREMO N° 001-2015-VIVIENDA, tiene por finalidad de controlar los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, como se puede observar en las Tablas 12 y 13. Según este Decreto Supremo mencionan que los usuarios no domésticos, cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos en Tabla 12, deberán efectuar el pago adicional por exceso de concentración, establecido por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS. Los parámetros contenidos en la Tabla 13 no pueden ser sobrepasados. Si sobrepasan dichos parámetros, el usuario será sujeto de suspensión del servicio (Ministerio del ambiente, 2016).

Además, indican que las empresas prestadoras de servicios (EPS) o entidades acreditadas ante el INDECOPI, son las que se encargan de monitorear la concentración de las aguas residuales no domésticas. La recolección de las muestras será realizada de manera inopinada, conforme al procedimiento establecido en el Reglamento de la presente norma (Ministerio del ambiente, 2016).

Tabla 12: Valores máximos permisibles de aguas residuales no domésticas

Parámetros	VMA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	500 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	500 mg/L
Aceites y Grasas	100 mg/L

Fuente: Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

Tabla 13: Valores máximos permisibles de aguas residuales no domésticas

Parámetros	Unidad	Expresión	VMA para descargas al sistema de alcantarillado sanitario
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ⁻²	1000
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	80
pH	unidad	pH	6 - 9
Sólidos	ml/L/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Fuente: Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

2.8. Metodología de superficie de respuesta (MRS)

Montgomery (2002), la metodología de superficie de respuesta, o MSR, es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar la respuesta.

Además, Montgomery (2002), en la mayoría de los problemas MSR, la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes es desconocida. Por lo tanto, el primer paso de la MSR es encontrar una aproximación adecuada de la verdadera relación funcional entre la respuesta y el conjunto de variables independientes. Si la respuesta está bien modelada por una función lineal de las variables independientes, entonces la función de aproximación es el modelo de primer orden:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

Montgomery (2002), si hay curvatura en el sistema, entonces debe usarse un polinomio de orden superior, tal como el modelo de segundo orden:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

En casi todos los problemas MSR se usa uno de estos dos modelos, o ambos. Desde luego, es probable que un modelo polinomial sea una aproximación razonable de la verdadera relación funcional en el espacio completo de las variables independientes, pero para una región relativamente pequeña suelen funcionar bastante bien (Montgomery, 2002).

El método de mínimos cuadrados se utiliza para estimar los parámetros de los polinomios de aproximación. Después se realiza el análisis de la superficie de respuesta utilizando la superficie ajustada. Si la superficie ajustada es una aproximación adecuada de la verdadera función de la respuesta, entonces el análisis de la superficie ajustada será un equivalente aproximado del análisis del sistema real. Los parámetros del modelo pueden estimarse de manera más eficiente cuando se emplean los diseños experimentales apropiados para recolectar datos. Los diseños para ajustar superficies de respuestas se denominan diseños de superficie de respuesta (Montgomery, 2002).

La metodología de superficie de respuesta (MSR) es un procedimiento secuencial. Muchas veces, cuando se está en un punto de la superficie de respuesta que está apartado del óptimo, el sistema presenta una curvatura moderada y el modelo de primer orden sería apropiado. El objetivo en este caso es llevar al experimentador de manera rápida y eficiente por la trayectoria del mejoramiento hasta la vecindad general del óptimo. Una vez que se ha encontrado la región del óptimo, puede emplearse un modelo más elaborado, como el de segundo orden, y llevarse a cabo un análisis para localizar el óptimo (Montgomery, 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en los siguientes centros de investigación:

- Laboratorio de Biotecnología Ambiental - Biorremediación de la Facultad de Ciencia. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Laboratorio de Química Biorgánica (CIBN). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

3.2. Materiales y Métodos

3.2.1. Materiales

a. Materia prima

Se empleó la torta de semillas de *Moringa oleífera*, subproducto de la extracción de aceite por prensa hidráulica de la semilla de moringa.

b. Materiales

- Bagueta
- Beakers de 100, 250, 500 y 1000 ml.
- Botellas de vidrio de 0.5 y 1 L
- Bureta de 25 ml.
- Culer congelador.
- Embudo de 100 y 200 ml.
- Ependorfs.
- Erlenmeyer de 100 y 250 ml.
- Flotador de tecnopor.
- Jeringas hipodérmicas desechables de 10 a 60 cm³ con aguja.

- Papel filtro Whatman # 42.
- Pipetas de 1, 5 y 10 ml.
- Pipetas volumétricas de 10 ml.
- Probetas de 100, 500 y 1000 ml.
- Sifones de plástico.
- Tamices N° 100.
- Termómetro.
- Tubos falcón.
- Micropipetas 10 -100 μ L, 20 -200 μ L, 100- 1000 μ L.

c. Equipos

- Agitador vortex (VELP científica, Modelo F202A0175. Europa).
- Balanza analítica (OHAUS, Modelo Galaxi 140).
- Balanza Digital (SARTORIUS, Modelo CP 1245.USA).
- Baño maría con agitador (CLPAN, Modelo 357.USA).
- Cámara de electroforesis (HSI, Modelo SE250. USA).
- Centrifuga (EPPENDORF, Modelo 5415 C. USA).
- Conductímetro (WTW, Modelo 330. GERMANY).
- Equipo de pruebas de jarras (VELP SCIENTIFICA, Modelo JLTE. ITALIA).
- Espectrofotómetro (SPECTRONICS, Modelo Génesys 20).
- Estufa al vacío (LABOR MUSZERIPARI. s/modelo).
- Fuente de poder (HSI, Modelo PS 1500. USA).
- Incubadora (VWR, Modelo Shel lab. USA).
- Kit de color (APHA, Modelo CO-2-1.USA).
- Potenciómetro (WTW, Modelo InoLab. USA).
- Turbidímetro (HACH, Modelo 2100P. USA).

d. Reactivos

- Acetona (J. T. Baker).
- Ácido acético glacial 100% (Mallinckrodt U.S.P.).
- Acrilamida (Serva).
- Ácido sulfúrico concentrado (Merck).
- Albumina sérica bovina (BSA) (Sigma).

- Bisacrilamida (Serva).
- Carbonato de sodio, anhidro, granular (J. T. Baker).
- Azul brillante de Coomassie R- 250 (Serva).
- Sulfato cúprico pentahidratado (J. T. Baker).
- Cloruro de calcio (J. T. Baker).
- Cloruro férrico (J. T. Baker).
- Dodecil sulfato de sodio (Merck).
- Folin Ciocalteu 2 N (Merck).
- Glicerol (Calbiochem).
- Glicina (Sigma chemical).
- Hidróxido de sodio (Sigma Aldrich).
- Marcadores de peso molecular (Combithek).
- Methanol (J.T.Baker).
- 2- Mercaptoethanol (Sigma).
- Persulfato de amonio (Polysciences, INC).
- Sulfato de Magnesio (J. T. Baker).
- Tartrato de sodio y potasio (J. T. Baker).
- Temed (Tetramethylethylenediamine) (Applichem).
- Trizma Base (Sigma chemical).

3.2.2. Métodos de análisis

a. Análisis químico proximal de la torta de moringa

La torta de semilla de moringa, fue sometida a los siguientes análisis:

- **Humedad**

La determinación de la humedad, se realizó de acuerdo al método AOAC (2012). N° 925.40. Se fundamenta en la pérdida de agua hasta peso constante.

- **Proteína cruda**

La determinación de la proteína cruda, se realizó de acuerdo al método AOAC (2012). N° 950.48.

La muestra es digerida con ácido sulfúrico empleando sulfato de cobre pentahidratado como catalizador y sulfato de potasio para elevar el punto de ebullición, para liberar el

nitrógeno a partir de la proteína y retener el nitrógeno como sal de amonio. Se agrega hidróxido de sodio al cincuenta por ciento para liberar el amoniaco, el cual es destilado y recogido en una solución de ácido bórico para luego ser titulado. Para transformarlo en porcentaje de proteína bruta (peso/peso). Se multiplica el porcentaje de nitrógeno obtenido por 6.25.

- **Grasa cruda**

La determinación de la grasa cruda, se realizó de acuerdo al método AOAC (2012). N° 948.22. La grasa se extrajo de la muestra seca con la ayuda de solventes orgánicos, para lo cual se utilizó el equipo de extracción Soxhlet.

- **Fibra cruda**

La determinación de la fibra cruda, se realizó de acuerdo al método AOAC (2012). N° 935.53.

- **Cenizas totales**

La determinación de la ceniza se realizó de acuerdo al método AOAC (2012). N° 950.49. Es la cantidad de materia incombustible que sobra luego de someterla a calcinación en un equipo llamado mufla.

- **Carbohidratos**

Se determinó por la diferencia, después de haber completado los análisis de humedad, proteína, grasa, fibra y ceniza. Por diferencia MS-INN Collazos (1993).

b. Caracterización del coagulante

- **Electroforesis**

Se determinó el peso molecular del extracto crudo de la torta de semilla de moringa, mediante la electroforesis en geles de poliacrilamida con SDS (SDS-PAGE), con 12 y 15 %T (acrilamida/bisacrilamida), respectivamente, utilizando un agente desnaturizante SDS (Dodecilsulfato sodico), siguiendo el protocolo Laemmli (1970), descrito por Yábar (2003).

c. Características físico químicas de efluentes de la producción de néctar de maracuyá

Los parámetros físicos químicos evaluados fueron: Color, Conductividad, pH, temperatura y Turbiedad.

- **Color**

El color en el agua se debe a la presencia de las diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color “color verdadero”, es el color del agua medido después de la remoción de la turbiedad. El “color aparente” es la muestra original APHA (1998). Para la medición de color, se utilizó el Kit de color HACH-Platino –cobalto.

- **Conductividad**

La conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones disueltos, sus concentraciones, su movilidad y su valencia y de la temperatura y la viscosidad de la solución. Este parámetro sirve para estimar el contenido total de constituyentes iónicos. Se determinó con el Método estándar APHA (1998) N° 2510 B.

Se utilizó el conductímetro WTW, modelo 330. Se reportó en unidades mS/cm.

- **pH**

El pH es un indicador de la concentración de los iones de hidrogeno presentes en el agua. Se determinó con el Método estándar APHA (1998) N° 4500 H⁺ B.

- **Turbiedad**

Se determinó con el Método estándar APHA (1998) N° 2130 B , que consiste en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbiedad.

El equipo que se empleó fue un turbidímetro, HACH, modelo 2100 P, el cual ofrece la lectura directa de turbiedad. Se reportó en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Recolección de la muestra

Semilla de Moringa oleifera

Para la investigación se utilizó la torta de las semillas de moringa, para la elaboración del extracto.

a. Efluentes de la producción de néctar de maracuyá

El efluente de la producción de néctar de maracuyá utilizados en esta investigación provinieron del lavado de la materia prima y de las marmitas del proceso de producción de néctar de maracuyá, brindado por el INDDA.

3.3.2. Análisis de laboratorio

a. Análisis químico proximal de la torta de moringa

Se realizó el análisis químico proximal de la torta de semilla de moringa (humedad, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda, cenizas totales y carbohidratos) según el método AOAC (2012).

b. Obtención del extracto de la torta de semilla de moringa

Para la investigación se acondicionó la torta de semilla de moringa, utilizando como solvente solución salina (NaCl 1 M), para la obtención del coagulante de torta de semilla de moringa. Las etapas del proceso se muestran en la Figura 2 y se describen a continuación:

- **Recepción:** Se utilizó la torta de semilla de moringa, subproducto de la extracción de aceite por prensa hidráulica.
- **Molienda:** En esta operación la torta de semilla de moringa, se molió en un molino de disco, el tamaño de partícula utilizado fue de 1,00 mm.
- **Tamizado:** La torta de semilla de moringa, se tamizó con una malla de 100 mesh (diámetro 0,149 mm).

- **Pesado:** Se pesó 20000 mg de torta de semilla de moringa, previamente tamizada.
- **Acondicionamiento para la obtención del extracto de torta de semilla de moringa**

La elaboración de extracto de torta de semilla de moringa, se procedió de la siguiente manera:

 - Se preparó el solvente (un litro de agua destilada y cloruro de sodio 1M).
 - Se pesó la cantidad de torta de semilla de moringa 20000 miligramos, posteriormente se colocó en beaker de un litro y se enrazó con el solvente.
 - Luego, se utilizó el equipo de prueba de jarras, en la cual se agitó la muestra a una velocidad de 150 rpm, se utilizó 35 minutos de agitación, todo el proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente (Figura 2).
- **Filtración:** Luego de concluir con la agitación, se procedió a filtrar en papel filtro Whatman #42 (Ndabigengeserei y Narasiah, 1998).

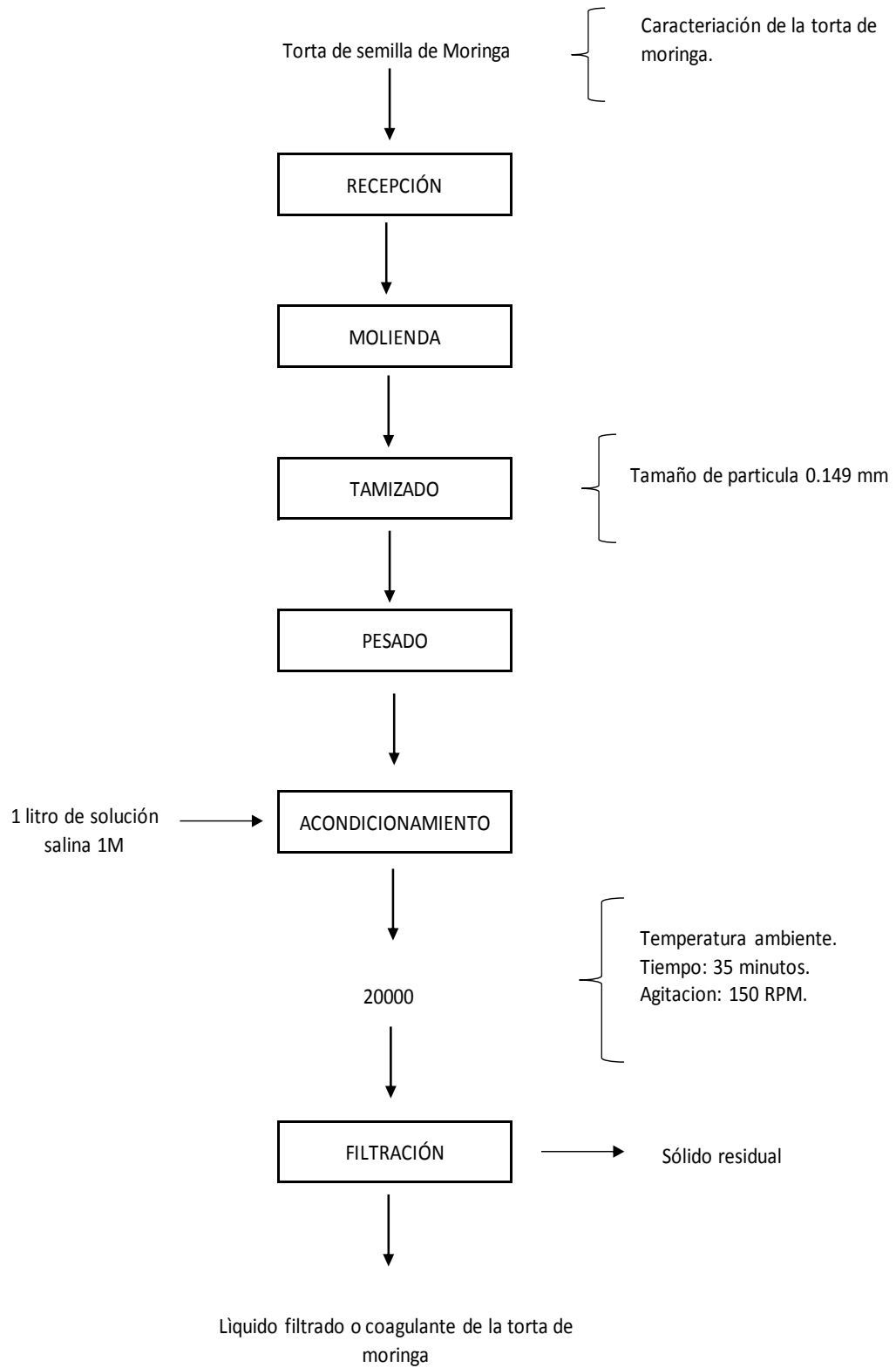


Figura 2: Flujo de operaciones para la obtención del coagulante de torta de semilla de moringa.

c. Caracterización del extracto de la torta de moringa

Electroforesis

Se determinó el peso molecular del coagulante de la torta de semilla de moringa, en la solución patrón, mediante la electroforesis en geles de poliacrilamida con SDS (SDS-PAGE), con 12 y 15 %T (acrilamida/bisacrilamida), respectivamente, utilizando un agente desnaturalizante SDS (Dodecilsulfato sodico), siguiendo el protocolo Laemmli (1970) descrito por Yábar (2003).

d. Remoción de la turbidez del agua residual

Para la remoción de la turbidez, se trabajó con el efluente de la producción de néctar de maracuyá.

Para la investigación se utilizó el equipo de prueba de jarras de velocidad variable fabricado por la Phipps & Bird. Ndabigengesere *et al.* (1995) mencionan que la prueba de jarras es el método más ampliamente utilizado para evaluar y optimizar los procesos de coagulación – floculación. Además, el mismo autor indica que no hay ningún método estándar en la prueba de jarra, por esta razón se realizaron pruebas preliminares en la cual se determinó las dos velocidades de mezclas.

Las etapas para la remoción de la turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá, se muestran en la Figura 3 y se describen a continuación:

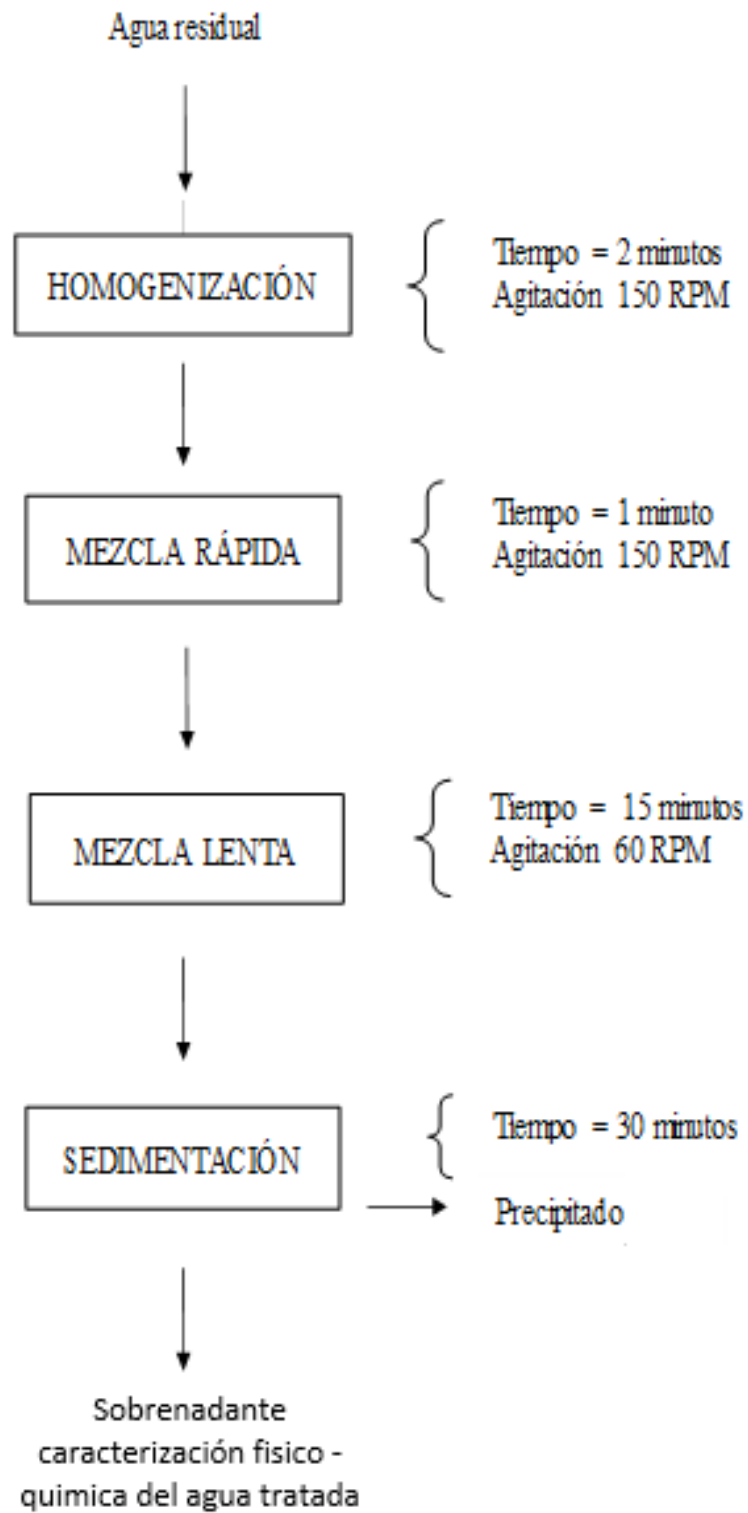


Figura 3: Flujo de operaciones para la remoción de la turbidez efluentes de la producción de néctar de maracuyá.

- **Homogenización**

El agua residual se homogenizó a velocidad de 150 rpm por dos minutos.

- **Mezcla rápida**

La mezcla rápida tiene por objetivo dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas. Andia (2000) menciona que esta mezcla es enérgica y de corta duración (60 segundos, como máximo). Se trabajó a una velocidad de agitación de 150 rpm por un minuto.

- **Mezcla lenta**

La mezcla lenta se utilizó para la formación de los flóculos. Se trabajó a una velocidad de agitación de 60 rpm por quince minutos.

- **Sedimentación**

Luego de haber realizado las etapas anteriormente mencionadas, se colocó los sifones en los vasos de precipitado. Se procedió a esperar por un lapso de treinta minutos de sedimentación. En la Figura 4, se observa el equipo de pruebas de jarras.



Figura 4: Equipo de pruebas de jarras.

- **Sobrenadante**

Después de haber transcurrido los treinta minutos de sedimentación, el sobrenadante se succionó por medio de un sifón (Figura 5). Los sifones son tubos de vidrio de 4 mm, están sostenidos por un flotador de tecnopor que ayudan a mantener constante la altura de la toma de muestra. Los tubos de vidrio torcidos en dirección horizontal en el punto de muestreo, son colocados a una profundidad de 6 cm (Aldana, 2012). Antes de tomar la muestra, se descartó aproximadamente 10 ml de agua, luego se tomaron 30 mililitros de muestra para caracterizar el agua tratada.

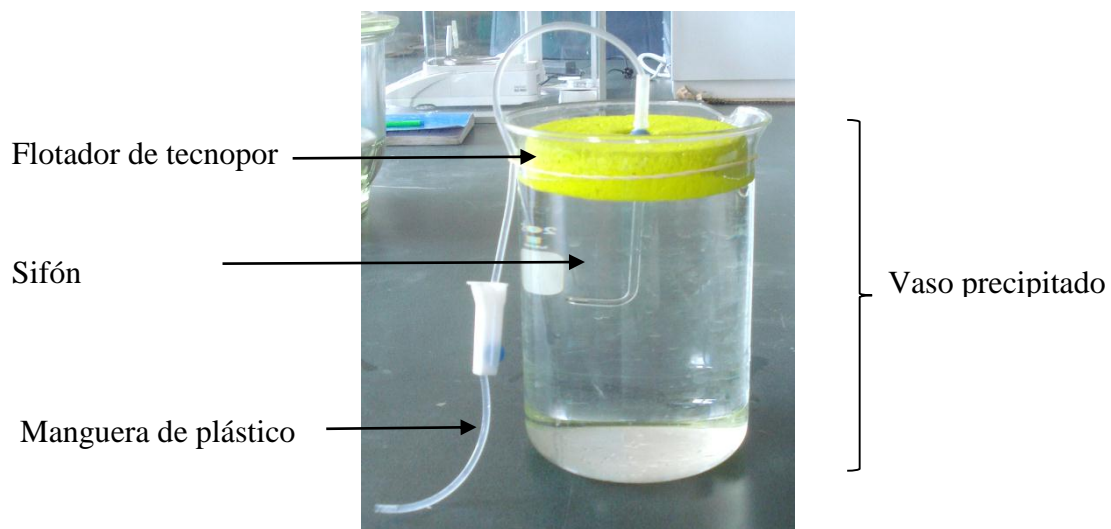


Figura 5: Partes de la toma de muestra.

e. Características físico- químicas del agua residual

Se utilizó la solución patrón de 20000 mg. En el agua tratada se valuó las características físico- químicas: Color, Conductividad eléctrica, pH, Temperatura y Turbiedad.

3.4. Diseño experimental

El diseño central compuesto (CCD), es uno de los diseños importantes del paquete RSM (Método de superficie de respuesta) del programa R, 2006 (Russel y Lent, 2009), fue seleccionado para la optimización de los parámetros.

El diseño comprende seis puntos centrales, obtenidos mediante la siguiente función:

$$\text{ccd} (2, n_0 = c(6,0), \text{Alpha} = 4^{(1/4)})$$

como variable respuesta la remoción de la turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá, y variables: turbidez y dosis del coagulante de moringa para el tratamiento del agua residual.

Para el estudio, la turbidez se consideró como mínimo 170 NTU y como máximo 500 NTU y las dosis 180 y 400 mg/L, aplicando el diseño experimental CCD (diseño central compuesto) se determinó nuevos niveles de acuerdo a la siguiente relación:

Turbidez: 170 – 500

Dosis: 180 – 400

$$X_1 = (\text{Turbidez} - 335) / 165$$

$$X_2 = (\text{Dosis} - 290) / 110$$

$$X_1 = (170 - 335) / 165$$

$$X_2 = (180 - 290) / 110$$

$$X_1 = -1$$

$$X_2 = -1$$

$$X_1 = (\text{Turbidez} - 335) / 165$$

$$X_2 = (\text{Dosis} - 290) / 110$$

$$X_1 = (500 - 335) / 165$$

$$X_2 = (400 - 290) / 110$$

$$X_1 = 1$$

$$X_2 = 1$$

Con los siguientes valores se determinó los valores codificados del diseño (Tabla 14).

$$\begin{aligned} \text{Turbidez: } 1.414214 &\longrightarrow 568.3453 & \text{Dosis: } 1.414214 &\longrightarrow 445.5635 \\ &= 165 * 1.414214 + 335 & &= 110 * 1.414214 + 290 \\ &= 568.3453 & &= 445.5635 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Turbidez: } -1.414214 &\longrightarrow 101.6547 & \text{Dosis: } -1.414214 &\longrightarrow 134.4365 \\ &= -165 * 1.414214 + 335 & &= -110 * 1.414214 + 290 \\ &= 101.6547 & &= 134.4365 \end{aligned}$$

Tabla 14: Resumen de los variables naturales y codificadas

Niveles de Turbidez	Niveles de Dosis	Turbidez codificada	Dosis codificada
101.6547	134.4365	-1.414214	-1
170	180	-1	1
335	290	0	0
500	400	1	-1
568.3453	445.6	1.414214	-1.414214

En la Tabla 15, se observa el diseño compuesto central, trabajados en la presente investigación.

Tabla 15: Diseño Central Compuesto de los niveles de turbidez y los niveles de dosis utilizada en la remoción de la turbidez del agua residual de la producción de néctar de maracuyá

VARIABLES NATURALES		VARIABLES CODIFICADAS		VARIABLE RESPUESTA	Análisis realizados a los diversos tratamientos
Niveles de Turbidez (NTU)	Niveles de Dosis (mg/L)	Turbidez	Dosis		
500	180	1	-1	Remoción de la Turbidez	Color Conductividad Turbidez pH
500	400	1	1		
335	290	0	0		
170	180	-1	-1		
335	290	0	0		
170	400	-1	1		
335	134.4	0	-1.414214		
101	290	-1.414214	0		
335	290	0	0		
335	290	0	0		
335	290	0	0		
568	290	1.414214	0		
335	290	0	0		
335	445.6	0	1.414214		

El modelo estadístico es la siguiente:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis proximal de la torta de semilla de moringa

En la Tabla 16, los resultados del análisis proximal de la torta de semilla de moringa reportados en base húmeda y en base seca respectivamente, humedad de la torta de moringa de 7.600 % (bh) y 8.225 % (bs), similar a lo reportado 7.700 % (bh) y 8.342 % (bs) por García *et al.* (2013). El contenido de proteína resultó en 45.866 % (bh) y 49.639 % (bs), inferior a lo reportado por García *et al.* (2013), quienes encontraron 60.3 % (bh) y 65.330 % (bs) de proteína, esta diferencia puede deberse al método de extracción del aceite.

En el contenido de grasa cruda fue 17.710 % (bh) y 19.167 (bs), valor superior a lo reportado por García *et al.* (2013), quienes menciona haber encontrado 1.030 % (bh) y 1.116 % (bs). Esta diferencia podría deberse a las distintas maneras de extracción del aceite. En la presente investigación se utilizó el método convencional (extracción por prensa hidráulica), basado en la aplicación de la presión sobre una masa de productos oleaginosos confinados, en bolsas de telas, mientras, en la investigación realizada por García *et al.* (2013), la extracción de aceite se realizó utilizando solvente en el equipo soxhlet.

Bailey (1984) indica, que con el método convencional el rendimiento en la obtención de aceite dependerá de una serie de factores relacionados con la afinidad del aceite por los sólidos de las semillas, como: Grado de humedad, composición química de la semilla, tamaño de la partícula, cantidad de presión aplicada, tiempo de drenaje del aceite a la presión total, temperatura, etc. Mientras que, con el método químico se logra una mejor eficiencia en la extracción del aceite, porque existe mayor área de contacto entre el sólido y el solvente, a través de la recirculación, por lo que se logra extraer la máxima cantidad de aceite. Se debe tener en cuenta que el tiempo de extracción, la cantidad de solvente, la temperatura del solvente y el tipo de solvente son importantes en la extracción. La ventaja de este método es la recuperación del solvente y la obtención del analito y la desventaja es la lentitud del proceso (García *et al.* 2013).

El valor de fibra y el contenido de carbohidratos encontrados en la investigación fueron 3.201% y 20.981 %, respectivamente. El valor de cenizas totales fue 4.642 % (bh) y 5.024 (bs), valor inferior a lo reportado por García *et al.* (2013), quienes encontraron 6.050 % (bh) y 6.555 (bs) de cenizas, estas diferencias pueden deberse al método de extracción del aceite.

Tabla 16: Análisis químico proximal de la torta de semilla de moringa.

Composición	Promedio		Otros autores	
	(base húmeda) (%)	(base seca) (%)	(base húmeda) (%)	(base seca) (%)
Humedad	7.600	8.225	7.700 ^a	8.342
Proteína cruda	45.866	49.639	60.300 ^a	65.330
Grasa cruda	17.710	19.167	1.030 ^a	1.116
Fibra cruda	3.201	3.464	-	-
Cenizas Totales	4.642	5.024	6.050 ^a	6.555
Carbohidratos	20.981	14.482	-	-

^a García *et al.* (2013).

4.2. Caracterización del extracto de moringa

4.2.1. Peso molecular de las proteínas solubles presentes en el coagulante

En la Figura 6, se observan las fracciones electroforéticas de proteína en un soporte de geles de poliacrilamida de 12 % T. Westermeier (2001) indica que el tamaño del poro puede ser ajustado, con geles de concentración de 12 %T para la separación óptima de proteínas de pequeño tamaño (menores de 50 KDa). En este caso la muestra analizada indica el predominio de bandas de 14.3 kDa.

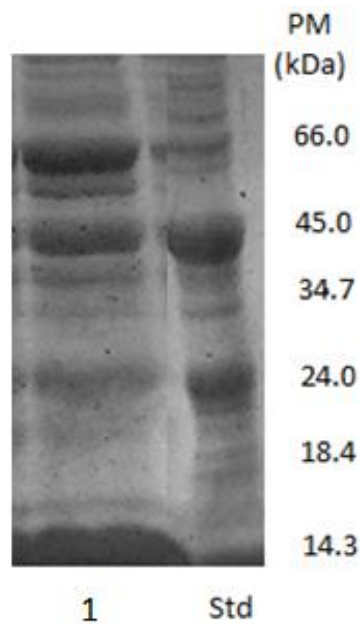


Figura 6: Fraccionamiento electroforético de proteínas al 12 % T: 1= Coagulante de moringa extraído a 35 minutos y Std= Marcador de peso molecular.

En la Figura 7, se observan la corrida electroforética del extracto crudo de moringa, con una concentración de 15%T (SDS- PAGE) a fin de revelar la presencia de bandas de menor peso molecular. Se puede observar una banda principal de polipéptido de 6.5 kDa en el coagulante extraído. Este resultado coincide con lo reportado Ndabigengesere *et al.* (1995), quienes informan que las proteínas activas tienen un peso molecular de 6.5 kDa. Asimismo, Ndabigengesere *et al.* (1995), trabajaron con el extracto acuoso (Coagulante de moringa extraído en agua destilada, MOC- DW), que encontraron que la proteína natal era una dimérica de 13 kDa y punto isoeléctrico entre 10 y 11 con subunidades aproximadamente de 6.5 kDa, determinado también en SDS- PAGE. Además, los mismos autores mencionan que tanto los monómeros como los dímeros conservan sus propiedades coagulante. Un hallazgo preciso de Ghebremichael *et al.* (2005) indica que el peso molecular de la proteína coagulante de moringa, purificado, es inferior de 6.5 kDa cuando fue determinado por SDS- PAGE.

Existen otros resultados como el de Okuda *et al.* (2001), quienes indican que el coagulante de moringa extraído en solución salina purificado (MOC- SC-pc), presenta características diferentes de lo que se extrae del agua destilada (MOC- DW). En este caso el peso molecular, del extracto de MOC- SC-pc, componente activo, sería como un compuesto orgánico de 3 kDa. No sería proteína, ni polisacárido, ni lípido, pero sí un polielectrolito orgánico. Esta

afirmación no corresponde con los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que el peso molecular del extracto extraído fue de 6.5 kDa.

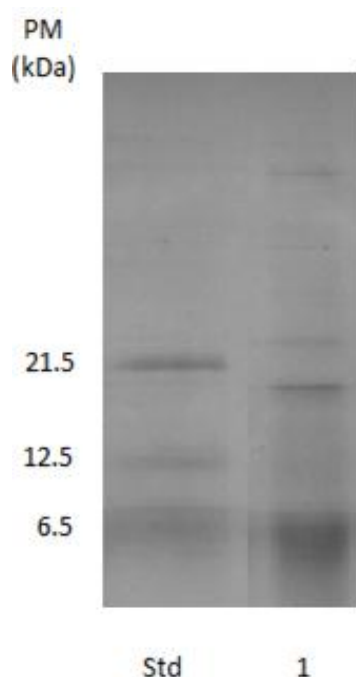


Figura 7: Fraccionamiento electroforético de proteínas al 15 %T: 1= Coagulante de moringa extraído a 35 minutos y Std= Marcador de peso molecular.

4.3. Características físico- químicos de efluentes de la producción de néctar de maracuyá

4.3.1. Características físico- químicos de efluentes de la producción de néctar de maracuyá sin tratamiento

Las características físico- químicos de los efluentes procedente de la producción de néctar de maracuyá, se muestra en la Tabla 17. Las turbiedades trabajadas fueron: 101, 170, 335, 500 y 568 NTU, los pH se encontraron en el rango de 2.74 -3.62. Las turbiedades de efluentes, así como el valor de pH varían dependiendo de la materia prima, el volumen a procesar y la tecnología a utilizar. Según Alcarraz & Inche (2010) las diferentes turbiedades y el pH que presentan los efluentes de las plantas procesadoras de frutas de mango, varían entre 168 a 199 NTU y 4.2 a 5.5 de pH, respectivamente. Además, indican de una relación directa entre la turbidez y la materia orgánica, medida como DBO₅.

La medición de color fueron: 42, 70, 85, 99 y 99 UC respectivamente; mientras que la conductividad fueron: 1.03, 1.14, 1.27, 1.37 y 1.36 mS/cm, respectivamente y los sólidos disueltos totales se midió indirectamente con el conductímetro y reportó 945, 1041, 1156, 1252 y 1245 mg/L, respectivamente.

Tabla 17: Características físico- químicos de efluentes de la producción de néctar de maracuyá sin tratamiento

Parámetro	Valores				
Turbiedad (NTU)	101	170	335	500	568
pH	3.62	3.04	2.89	2.79	2.74
Temperatura (°C)	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9
Conductividad (mS/cm)	1.03	1.14	1.27	1.37	1.36
Sólidos disueltos totales TDS (mg/L)	945	1041	1156	1252	1245
Color (UC)	42	70	96	99	99

NTU: Unidad nefelométricas de turbidez.

UC: Unidad de color.

4.3.2. Efecto del extracto de moringa en el tratamiento de efluentes de la producción de néctar de maracuyá con tratamiento

Las características físico –químicos de efluentes de la producción de néctar de maracuyá con tratamiento utilizando el extracto de moringa, obtenidos a los treinta y cinco minutos de extracción. Reportando los resultados que se observan en la Tabla 18.

Tabla 18: Características físico – química de efluentes de la producción de néctar de maracuyá con tratamiento

TURBIDEZ	DOSIS	NIVELES DE TURBIDEZ	NIVELES DE DOSIS	REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ (%)	pH	TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD	REMOCIÓN DE COLOR (%)
500	180	1	-1	93.16	2.79	18.9	1.97	77.78
500	400	1	1	94.16	2.76	18.9	2.96	79.8
335	290	0	0	92.24	2.82	18.9	2.45	71.76
170	180	-1	-1	78.24	3.07	18.9	1.87	44.12
335	290	0	0	92.21	2.82	18.9	2.46	69.41
170	400	-1	1	63.88	3.03	18.9	2.83	41.18
335	134.4	0	- 1.414214	90.45	2.84	18.9	1.84	70.59
101	290	- 1.414214	0	7.43	3.64	18.9	2.09	3.23
335	290	0	0	92.3	2.82	18.9	2.32	72.94
335	290	0	0	92.24	2.82	18.9	2.45	71.76
335	290	0	0	92.24	2.82	18.9	2.45	71.76
568	290	1.414214	0	93.24	2.74	18.9	2.52	77.78
335	290	0	0	92.24	2.82	18.9	2.44	71.76
335	445.6	0	1.414214	90.51	2.83	18.9	3.18	72.73

a. Efecto sobre el pH residual

La Figura 8, se muestra los diferentes niveles de turbidez del efluente, en el cual presentan diferentes valores de pH, pero al adicionar diferentes dosis de extracto de moringa, el pH residual no sufre modificaciones significativas (Tabla 18). El valor de pH se mantiene en el rango de 2.74 a 3.64, se concluye que el extracto de moringa no influye significativamente en el pH inicial del agua residual, lo que coincide con los resultados de Molano (2011) y Ndagengesere y Narasiah (1998) que empleando como coagulante natural la semilla de moringa, confirman que las semillas en el tratamiento de aguas no producen cambios significativos en los valores de pH. Además, Liñan (2010) menciona que la moringa actúa como un coagulante natural independiente del pH del agua. Así mismo, Chacón y Tobaru (2013) utilizando agua de regadío de la UNALM, observaron que los distintos tratamientos, aplicando extracto de semilla de moringa no afectaron al pH del agua.

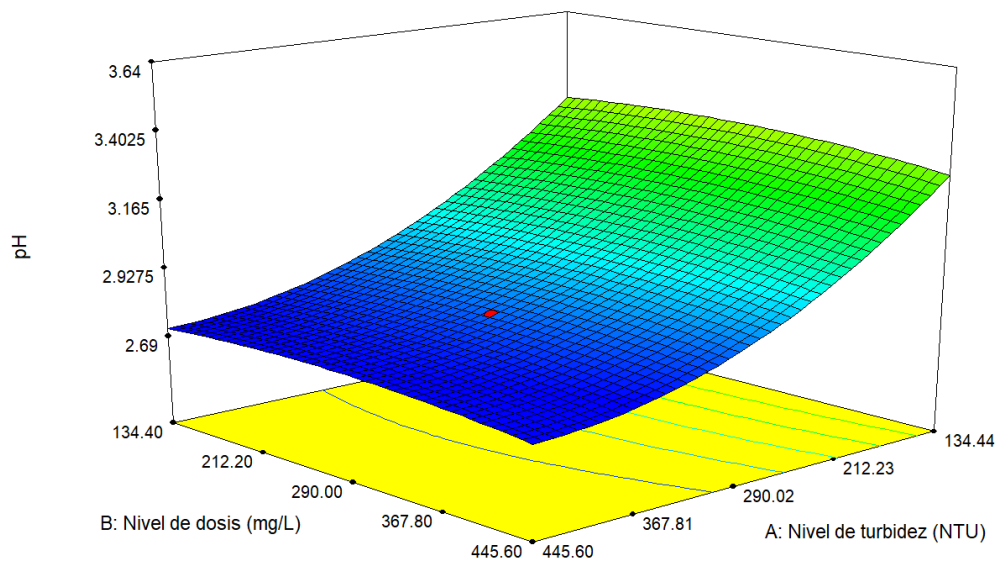


Figura 8: El pH en función de la turbidez y dosis del extracto de moringa.

b. Efecto sobre la remoción de la turbidez (NTU)

El valor de la probabilidad de la significancia ($\text{Prob} > F$) resultó menor de 0.05 (Anexo 1), lo que afirma que la variable x_1 y x_1^2 (Turbidez) contribuyen al modelo estadístico, no así las variables x_2 y x_2^2 (Dosis), es decir, que distintas turbiedades de efluentes de la producción de néctar de maracuyá con diferentes dosis de coagulante aplicadas al efluente, se obtuvieron diferentes resultados de turbidez final en las muestras tratadas. El R cuadrado ajustado de

0.776 da la confianza que el modelo utilizado con la variable seleccionada representa el mejor comportamiento de la remoción de la turbidez. En el Anexo 2, se observa el análisis de varianza con un nivel de significancia ($\text{Prob}>F$) resultó menor de 0.05, se observa el efecto lineal ($\text{FO}(x_1, x_2)$) y el efecto cuadrático ($\text{PO}(x_1, x_2)$), el cual contribuyen significativamente en la remoción de la turbidez.

En el Anexo 3, se muestra los resultado de la investigación, sin embargo, en la Figura 9, muestra el modelo propuesto un mayor entendimiento de la proyección futuras de la remoción de la turbidez. Los efluentes de la producción de néctar de maracuyá con niveles de turbidez entre 335 a 500 NTU, aplicando dosis entre 150 y 200 mg/ L, respectivamente, se logra el 100% de remoción de turbidez; así mismo, observándose que con dosis mayor a 200 mg/ L se obtiene una remoción de turbidez en 90 NTU ; Nkurunziza *et al.* (2009) nos informa, que las aguas turbias del rio de Ruanda, en este mismo rango observaron que las muestras de turbidez alta (350 – 450 NTU), con una dosis de 125 mg/L producía una remoción de la turbidez de 99.7 a 99.8 %, mientras que dosis mayores (175 y 225 mg/L) removían una menor proporción la turbidez 99.6 – 99.5 % y 99.7 – 99.6 % respectivamente. Asimismo, dosis mayores (250-300 mg/L) producía similar remoción de la turbidez de 99.3 % (350 NTU) y 99.7% (450 NTU) respectivamente. Similar comportamiento se obtuvo en la presente investigación. También, Feria *et al.* (2014) trabajando con las aguas turbias del rio Sinú, en las muestras de turbidez (247.50, 320.0 y 364.6 NTU) encontraron similares resultados de remoción de la turbidez fue de 95 – 97 %.

Se observó que el efluente con turbidez baja en el rango de 200 a 300 NTU, y aplicando diferentes niveles de dosis de 150 a 250 mg/ L, respectivamente, se producían la misma remoción en el rango de 80 % a 90%, respectivamente, así mismo, dosis mayores a 250 mg/ L en lugar de incrementarla la remoción de la turbidez la disminuye. Nkurunziza *et al.* (2009) observaron que en las muestras de turbidez (150 – 250 NTU), con dosis de 125 mg/L producía una remoción de la turbidez de 98.4 a 99.4 %, mientras que dosis mayores (175 y 225 mg/L) removían una menor proporción la turbidez 97.8 – 97.9 % y 99.3 – 99.0 %, respectivamente.

Al respecto Andía (2000), menciona que una dosis del extracto de moringa, si es baja, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, generando una baja cantidad de microflóculos, persistiendo la turbidez. Si la dosis de floculante es muy alta se produce la neutralización de

todas las cargas, generando una alta cantidad de microflóculos muy pequeños, que no precipitan fácilmente, persistiendo la turbiedad, en algunos casos incrementándola. Por ello, es recomendable determinar una dosis óptima y una concentración óptima que permitan la máxima remoción de la turbidez. Así mismo, Muyibi y Evison (1995) afirman que altas dosis de moringa, podrían generar un cambio de carga, lo que produciría un aumento en la turbidez. Este aumento de turbidez probablemente puede ser, que cuando se extraen el coagulante de moringa junto con la proteína activa, se extraen otros compuestos solubles en agua (azúcares, carbohidratos, péptidos, lípidos, etc.) de tal forma que la aplicación de una mayor dosis, en lugar de incrementar la remoción de la turbidez la disminuye levemente.

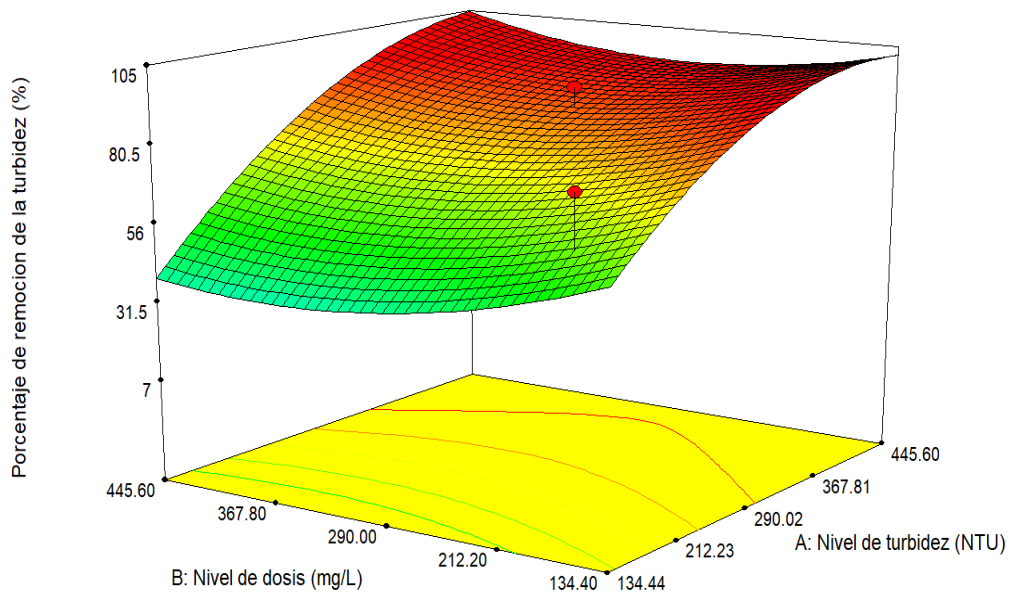


Figura 9: Porcentaje de remoción de turbidez del efluente en función de la turbidez y dosis del extracto de moringa.

El modelo teórico utilizado en el análisis de los resultados de la presente investigación presenta la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon$$

Siendo el modelo estadístico con los resultados:

$$Y = 92.24 + 20.82 (X_1) - 1.66 (X_2) - 17.97 (X_1)^2 + 2.11.(X_2)^2$$

Según el modelo, se dá un camino de ascenso más pronunciado, donde a diferentes niveles de dosis y turbidez, se tiene nuevos resultados. En la Tabla 19, se observa las proyecciones futuras, del porcentaje de remoción de los efluentes de la producción de néctar de maracuyá con diferentes dosis de extracto, el cual con turbidez mayores a 412 y con dosis de 248.6 mg/L es suficiente para remover el 98.97 %, mayores dosis, no generarán mayor remoción, se puede corroborar con lo que menciona (Andía, 2000), a dosis de floculante muy alta se produce la neutralización de todas las cargas, generando una alta cantidad de microflóculos muy pequeños, que no precipitan fácilmente, persistiendo la turbiedad, en algunos casos incrementándola.

Tabla 19: Camino de ascenso más pronunciado desde el análisis de la cresta, en la predicción del porcentaje de remoción de la turbidez

Distancia	x₁	x₂	Turbidez resultante	Dosis resultante	Predicción del porcentaje de remoción de la turbidez (PTR)
0.0	0.000	0.000	335.0	290.0	92.24
0.1	0.100	-0.010	351.5	288.9	94.16
0.2	0.198	-0.026	367.7	287.1	95.71
0.3	0.295	-0.055	383.7	283.9	96.92
0.4	0.383	-0.116	398.2	277.2	97.8
0.5	0.441	-0.235	407.8	264.1	98.44
0.6	0.467	-0.376	412.1	248.6	98.97

X1: Turbidez (NTU) del modelo.

X2: Dosis (mg/L) del modelo.

c. Efecto sobre el color residual

El valor de la probabilidad de la significancia (Prob>F) resultó menor a 0.05% (Anexo 4), lo que afirma que la variable x_1 y x_1^2 (Turbidez) contribuyen el modelo, mientras que las variables x_2 y x_2^2 (Dosis) no contribuyen el modelo, es decir, que distintas turbiedades de efluentes de la producción de néctar de maracuyá con diferentes dosis de coagulante aplicadas al efluente, se obtuvieron diferentes resultados de turbidez final en las muestras tratadas. El R- cuadrado ajustado de 0.929 indican que el modelo utilizado con las variables a seleccionada representa el mejor comportamiento de la remoción del color. En el Anexo 5, se observa el análisis de varianza con un nivel de significancia (Prob>F) resultó menor de

0.05, se observa el efecto lineal (FO(x1, x2)) y el efecto cuadrático (PO(x1, x2)), el cual contribuyen altamente significativamente en la remoción del color.

En el Anexo 6, se muestra los resultados de la investigación, sin embargo, en la Figura 10, muestra el modelo propuesto un mayor entendimiento de la proyección futuras de la remoción del color. Los efluentes de la producción de néctar de maracuyá con turbidez entre 335 a 500 NTU, aplicando dosis entre 150 y 200 mg/ L, respectivamente, se logra casi el 100 % de remoción de color; así mismo, observándose que dosis mayor a 200 mg/ L removía en menor proporción el color en 75%; similar resultados se obtuvo con Nkurunziza *et al.* (2009) nos menciona, que las muestras de turbidez alta (350 – 450 NTU), una dosis de 125 mg/L producía una remoción de color de 97.3 a 98.3 %, mientras que dosis mayores (175 y 225 mg/L) removían una mínima disminución de remoción de color respecto a lo mencionado anteriormente (con dosis de 125 mg/L) de 97.1 – 97.3 % y 98.7 – 98.6 % respectivamente, asimismo, dosis mayores (250-300 mg/L) producía similar remoción del color de 97.4 % (350 NTU) y 98.8 % (450 NTU), respectivamente.

Así mismo, se observó con turbiedades de 200 a 300 NTU, con dosis de 150 y 250 mg/L, respectivamente, producían una remoción en rango de 80 a 85 %, respectivamente, así mismo dosis mayores a 200 mg/ L no mejoraban la remoción de color. Nkurunziza *et al.* (2009) las muestras de turbidez intermedia (150 – 250 NTU), una dosis de 125 mg/L se obtiene una remoción del color de 96.0 a 97.4 %, mientras que dosis mayores (175 y 225 mg/L) removían una menor proporción de color 94.0 – 94.1 % y 97.2 – 96.2 % respectivamente. El aumento de la remoción de color sigue la misma tendencia que la remoción de la turbidez. Lo reafirma, nuevamente, lo mencionado por Andía (2000) que dosis elevadas, generan un aumento de microflóculos, no precipita fácilmente, contribuyendo en la turbidez en el agua residual y además en su color. Otros investigadores demostraron que los extractos de moringa en soluciones salinas son mejores, para la remoción de turbidez y del color, comparando con los extractos de moringa extraídos con agua destilada. Igualmente Sandoval y Laines (2013) utilizando extractos de moringa en agua destilada y en solución salina, demostraron que la mejor remoción de color se consigue con los extractos en solución salina. Ellos trabajaron con agua de río de Samaria (México), logrando una remoción de color de 95.27 %. Así mismo, Baptista *et al.* (2014), afirmaron que la mejor remoción de color se consigue con los extractos de moringa en solución salina. En su investigación, trabajaron con agua cruda del río Pirapó, removiendo el 89.65 % de

color. La diferencia, entre el 79.8 % de remoción de color, encontrado en la presente investigación, con el porcentaje de remoción observado por Sandoval y Laines (2013) y Baptista *et al.* (2014), podría deberse al tipo de agua residual, la turbidez inicial del agua o la dosis empleada. Además, se podría concluir que la remoción de color presenta el mismo comportamiento que la remoción de la turbidez.

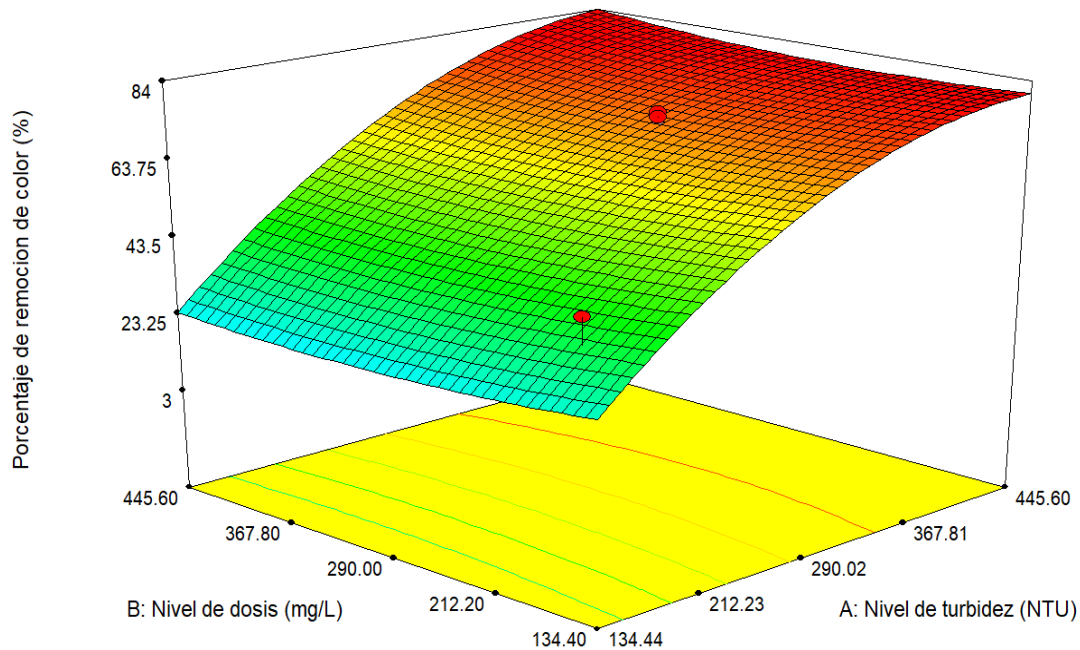


Figura 10: Porcentaje de remoción de color en función de la turbidez y dosis del extracto de moringa.

El modelo teórico utilizado en el análisis de los resultados de la presente investigación presenta la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon$$

Siendo el modelo estadístico con los resultados:

$$Y = 24.1667 - 11.2175 (X_1) + 0.3536 (X_2) + 7.5417 (X_1)^2 + 0.0417(X_2)^2$$

Según el modelo, se dá un camino de ascenso más pronunciado, donde a diferentes niveles de dosis y turbidez, se tiene nuevos resultados. En la Tabla 20, se observa las proyecciones

futuras, la remoción de color de los efluentes de la producción de néctar de maracuyá con diferentes dosis de extracto, el cual con turbidez mayores a 432.8 y con dosis de 280.1 mg/L es suficiente para remover el 20.14 UC (79.80 %), mayores dosis, no generarán mayor remoción de color, se puede corroborar con lo que menciona Andía (2000) que dosis elevadas, generan un aumento de microflóculos, no precipita fácilmente, contribuyendo en la turbidez en el agua residual y además en su color.

Tabla 20: Camino de ascenso más pronunciado desde el análisis de la cresta, en la predicción de la remoción del color

Distancia	x ₁	x ₂	Turbidez resultante	Dosis resultante	Predicción de la remoción de Color (UC)
0.0	0.000	0.000	335.0	290.0	24.17
0.1	0.100	-0.004	351.5	289.6	23.12
0.2	0.200	-0.009	368.0	289.0	22.22
0.3	0.300	-0.016	384.5	288.2	21.48
0.4	0.399	-0.027	400.8	287.0	20.88
0.5	0.498	-0.047	417.2	284.8	20.43
0.6	0.593	-0.090	432.8	280.1	20.14

X₁: Turbidez (NTU) del modelo.

X₂: Dosis (mg/L) del modelo.

d. Efecto sobre la conductividad eléctrica residual (mS/cm)

Los resultados de la remoción de la turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá se presentan en el Anexo 7, el valor de la probabilidad de la significancia (Prob>F) resultó menor a 0.05 podemos afirmar que la variable x₁ (Turbidez) y x₂ (Dosis) contribuyen significativamente el modelo, mientras que las variables x₁² (Turbidez) contribuye significativamente el modelo, mientras x₂² (Dosis) no contribuyen el modelo, es decir, que distintas turbiedades de efluentes de la producción de néctar de maracuyá con diferentes dosis de coagulante aplicadas al efluente, se obtuvieron diferentes resultados de conductividad en las muestras tratadas. El R- cuadrado ajustado de 0.976 indican que el modelo utilizado con las variables a seleccionar van hacer las adecuadas para representa el mejor comportamiento de la conductividad eléctrica . En el Anexo 8, se muestra el análisis

de varianza con un nivel de significancia con alfa de 0.05%, se observa el efecto lineal (FO(x1, x2)) y el efecto cuadrático (PO(x1, x2)).

El Anexo 9, los resultados de la investigación se presentan en la Figura 11, se muestra el modelo propuesto un mayor entendimiento de la proyección futuras de la conductividad. Los efluentes de la producción de néctar de maracuyá con distintas turbiedades y diferentes dosis de extracto de moringa, con turbidez entre 335 y 500 NTU, aplicando dosis de 150 a 200 mg/ L, respectivamente, la conductividad residual es de 1.9 mS/cm. Mientras, con turbiedades de 200 a 300 NTU, con dosis de 150 - 250 mg/L, respectivamente 1. 7 y 2.0 mS/cm respectivamente. También<, los efluentes con turbidez de 100 NTU con dosis de 250 mg/L, el valor de conductividad residual de 2.0 mS/cm, mientras que con dosis de 450 mg/L, la conductividad residual de 3.2 mS/cm. Observándose en todos los casos que la conductividad residual es directamente proporcional con las dosis. Esto podría deberse a la presencia de los iones de cloruro de sodio, presentes en los extractos de moringa, que serían los causantes del incremento de la conductividad. Lo mencionado anteriormente es confirmado por Crites y Tchobanoglous (2000), citado por Delgadillo *et al.* (2010), quienes indican que el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad.

Ndabigengesere *et al.* (1995) informan que los extractos de moringa en solución salina en lugar de agua destilada o agua de grifo, mejora la remoción de la turbidez. Además, Okuda *et al.* (1999), indican que estos extractos, mejoran la capacidad de coagulación en 7.4 veces comparado con el extracto extraídos con agua destilada. De igual manera Sarpong y Richardson (2010) afirman que la extracción del polvo de moringa con sal mejora sustancialmente la eficiencia de la coagulación, sin embargo, incrementa la salinidad del agua tratada. Sánchez y Beltrán (2010) confirman también estas observaciones. Mientras que Ndabigengesere y Narasiah (1998) demostraron que la remoción de la turbidez con extracto de moringa extraída con agua destilada, no produce cambios significativos en los valores de conductividad.

Sandoval y Laines (2013), en muestras de agua del rio Samaria, la conductividad fue de 0.336 mS/cm, al utilizar el extracto de moringa en solución salina 1M, para remover la turbidez, observaron el incremento de la conductividad hasta 0.470 mS/cm. La diferencia del incremento de la conductividad, respecto a los resultados reportados en esta

investigación, podría deberse a la materia prima empleada, la dosis óptima utilizada para la remoción de la turbidez. Similar comportamiento obtuvimos en los resultados de esta investigación, que diferentes niveles de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá, aplicados con diferentes dosis de coagulante, se observa el incremento de la conductividad, esto podría deberse a la presencia de los iones de cloruro de sodio, presentes en el coagulante de moringa.

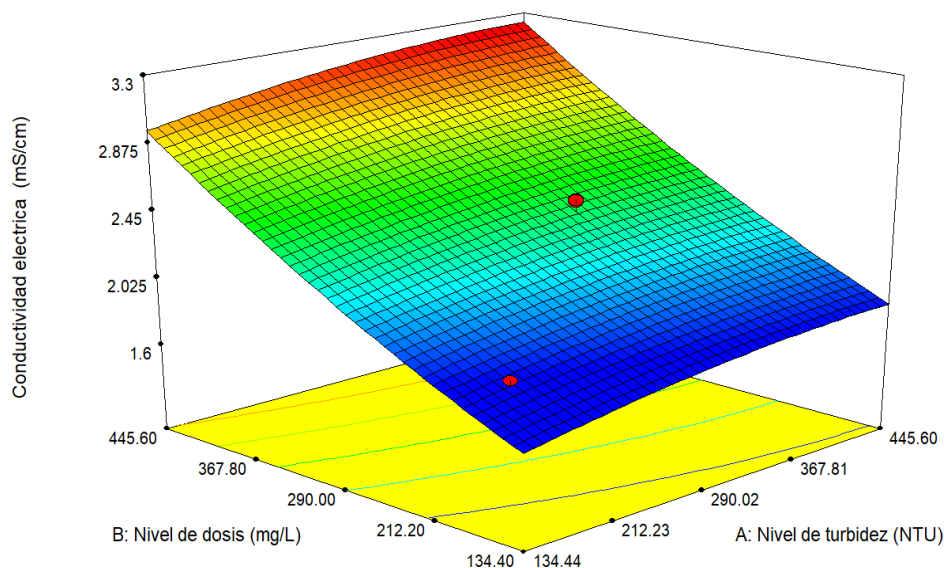


Figura 11: Diferentes niveles de dosis del extracto de moringa con diferentes niveles de turbidez sobre la conductividad residual de efluentes.

El modelo teórico utilizado en el análisis de los resultados de la presente investigación presenta la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon$$

Siendo el modelo estadístico con los resultados:

$$Y = 2.4283 + 0.1048 (X_1) + 0.4806 (X_2) - 0.0617 (X_1)^2 + 0.0408 (X_2)^2$$

Según el modelo, se da un camino de ascenso más pronunciado, donde a diferentes niveles de dosis y turbidez, se tiene nuevos resultados. En la Tabla 21, se observa las proyecciones futuras, de los diferentes niveles de turbidez de los efluentes de la producción de néctar de maracuyá con diferentes dosis de extracto de moringa, con turbidez 307.4 y con dosis de 226.6 mg/L se obtiene valor de la conductividad residual de 2.146 mS/cm.

Tabla 21: Camino de ascenso más pronunciado desde el análisis de la cresta, en la predicción de conductividad

Distancia	x₁	x₂	Turbidez resultante	Dosis resultante	Predicción de la Conductividad eléctrica (mS/cm)
0.0	0.000	0.000	335.0	290.0	2.428
0.1	-0.022	-0.098	331.4	279.2	2.379
0.2	-0.046	-0.195	327.4	268.6	2.331
0.3	-0.072	-0.291	323.1	258.0	2.284
0.4	-0.100	-0.387	318.3	247.4	2.237
0.5	-0.132	-0.482	313.2	237.0	2.191
0.6	-0.167	-0.576	307.4	226.6	2.146

X₁: Turbidez (NTU) del modelo.

X₂: Dosis (mg/L) del modelo.

V. CONCLUSIONES

1. La eficiencia del extracto de moringa en la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá, tuvo efecto significativo en la remoción de la turbidez del efluente de néctar de maracuyá en los diferentes niveles de turbiedad, se consiguió un rango máximo de remoción de 92.25 a 94.16 %
2. La dosis del extracto de moringa para maximizar la remoción de la turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá fue de 290 y 400 mg/L.
3. Respecto a la remoción de color, este parámetro se ve afectado directamente con la remoción de la turbidez. Con dosis de 290 y 400 mg/L respectivamente, aplicados en efluentes de turbidez inicial de 335 y 500 NTU, permitieron obtener los mejores resultados de remoción de color de 75.57 y 79.80 %, respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios comparativos de la eficiencia de los extractos de moringa crudos y purificados, en el tratamiento de efluentes del sector agroindustrial.
2. Se recomienda estudiar el componente activo del extracto de moringa, mediante la técnica de purificación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUILAR, E. 2010. Utilización de la semilla de tara (*Caesalpinia spinosa*) como ayudante en la coagulación en el tratamiento de agua. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero. Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú.
- AHO, I Y LAGASI, J. 2012. A new water treatment system using *Moringa oleifera* seed. American Journal of Scientific and Industrial Research. 3 (6): 487-492 p.
- ALCARRAZ, M. & INCHE, J. 2010. Tratamiento de efluentes de una planta procesadora de frutas. Universidad Mayor de San Marcos. 13 (2): 99- 104 p.
- ALDANA, E. 2012. Uso del extracto de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú. 81p.
- ANDÍA, Y. 2000. Tratamiento de agua coagulación y floculación: Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Sedapal. Lima- Perú.
- AOAC (Association of official analytical Chemistry). 2012. Official methods of analysis 19 th Edition. Association of official analytical Chemistry.
- APHA 1998. STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 20th ed. American Public Health Association Washintong, DC.
- ARIAS, S. 2014. Estudio de las posibles zonas de introducción de la *Moringa oleifera* Lam. En la península ibérica, islas baleares e islas canarias. Universidad politécnica de Madrid. Escuela universitaria de ingeniería técnica forestal. Consultado el 5 de julio del 2015. Disponible en: http://oa.upm.es/23094/1/PFCARIAS_SABIN.pdf.

- ASOCIACION ALEMANA DE SANEAMIENTO. 1989. Aguas residuales del procesamiento de aguas minerales y de la industria de refresco y jugos de fruta. Reglas técnicas con respecto a la gestión de aguas residuales y desechos. Promoción de Capre/ Andesapa y sus miembros.
- BAILEY, A. 1984. Aceites y grasas industriales. Editorial Reverte. España.
- BAPTISTA, A.; F DE MORAIS, E.; L. DE MIRANDA, N.; GOMES. R. Y VIEIRA. A. 2014. Avaliação das diferentes formas de extração do coagulante natural da *Moringa Oleifera* para o tratamento de águas superficiais. Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia de Alimentos. XII Simposio de recursos hídricos do nordeste.
- BRUHNS, E. 2011. *Moringa oleifera* el arbol maravilloso. Salud natural para la vida. Primera edición Alemana. Consultado el 20 de mayo del 2018. Disponible: <http://books.google.com.pe/books>.
- CALDERA, Y.; MENDOZA, I.; BRICEÑO, L. GARCIA, J. Y FUENTES, L. 2007. Eficiencia de las Semillas de *Moringa oleífera* del agua. Universidad de Zulia, Venezuela. Boletín del Centro de Investigaciones Bilógicas 41 (2): 244-254 p.
- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE, 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS). Volumen 1.
- COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 1998. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Industria procesadora de frutas y hortalizas. Santiago de Chile.
- CHACÓN, F. Y TOBARU, J. 2013. Uso de la semilla de *Moringa oleifera Lam.* Para la purificación de agua para consumo humano. Compendio de trabajo de investigación.
- DELGADILLO, O.; CAMACHO, A.; PÉREZ, L.; ANDRADE, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales centro andino para la gestión y uso de agua. Universidad Mayor de San Simón. Edición: Nelson Antequera Durán. ISBN: 978-99954-766-2-5, Bolivia.

- DECRETO SUPREMO VIVIENDA. N° 001-2015. Ministerio del ambiente. Consultado el 29 de mayo 2018. Disponible <http://sinia.minam.gob.pe/normas/se-modifican-diversos-articulos-decreto-supremo-N°-021-2009-vivienda>.
- FERIA, J.; BERMÚDEZ, S. Y ESTRADA, A. 2014. Eficiencia de la semilla *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez. *Producción +limpia*. 9 (1): 9-22 p.
- FOIDL, N.; MAYORGA, L. Y VÁSQUEZ, W. 1999. Utilización del Marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para ganado. *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Eds. M.D. Sánchez y Rosales. Estudio FAO: Producción y Sanidad Animal.
- FOIDL, N.; MAKKAR, H.P.S. Y BECKER, K. 2001. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. Consultado el 12 de febrero del 2016. Disponible:http://miracletrees.org/moringadoc/the_potential_of_moringa_oleifera_for_agricultural_and_industrial_uses.pdf.
- FOLKARD, G. Y SUTHERLAND, J. 1996. *Moringa oleifera* un árbol con enormes potencialidades. *Ingeniería Ambiental del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Leiceste*. 8(3): 5-8 p.
- GARCÍA, A.; MARTINEZ, R Y RODRIGUEZ, I. 2013. Evaluación de los usos potenciales del Teberinto (*Moringa oleifera*) como generador de materia prima para la Industria Química. Tesis para optar el título de ingeniero químico. Universidad de El Salvador. 97p.
- GARCÍA, B. 2007. Metodología de extracción in situ de coagulantes natural para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Tesis de Master en seguridad industrial y medio ambiental. Universidad Politécnica de Valencia.
- GHEBREMICHAEL, K.; GUNARATNA, K.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H. Y DALHAMMAR, G. 2005. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *Elsevier*. 39 (2005) 2338- 2344.

- HASSAN, M. 2013. A Review of the Applications of *Moringa oleifera* Seeds Extract in Water Treatment. Faculty of Engineering, Bayero University, Kano-Nigeria. 3 (8).
- KUNAL, T. s/n. Eco-Friendly Bio-coagulant. Coagulant active protein from *Moringa oleifera* seeds. 124 p. Consultado el 15 de marzo 2016. Disponible en: http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/9210/11/11_chapter%25204.pdf.
- LENNTECH. s/n. Wáter treatment solution. Consultado 15 de setiembre de 2015. Disponible en: <http://www.lenntech.es/calculadoras/tds/tdsyconductividad-electrica>.
- LIÑAN, F. 2010. *Moringa oleifera*, el árbol de la nutrición. Ciencia y Salud Virtual. ISSN: 2145 -5333. 2 (1): 130-138 p.
- LLANEZA, A. 2012. Tratamientos de aguas residuales en la industria alimentaria del zumo de manzana. Proyecto de Master universitario en biotecnología alimentaria. Universidad de Oviedo España.
- MADRONA, G.; BRANCO, I.; SEOLIN, V.; FILHO, A.; KLEN, M. & BERGAMASCO, R. 2012. Evaluation of extracts of *Moringa oleifera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. Acta Scientiarum 34 (3): 289-293 p.
- METCALF & EDDY. 1995. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Volumen 1. Madrid España. Editorial McGraw Hill.
- MOLANO, L. 2011. La semilla de *Moringa oleifera* como alternativa de coagulante natural para el tratamiento de agua. Tesis en especialidad Química Ambiental. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- MONTGOMERY, D. 2002. Diseño Y análisis de Experimentos. Editorial Limusa S.A. Segunda edición, México.
- MUYIBI, S. A. & EVISON L. M. 1995. Optimizing Physical Parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds. Water Research 29 (12): 2689 – 2695 p.

- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, S. & TALBOT, B. 1995. Active agents and mechanism of coagulant of turbid waters using *Moringa oleifera*. Elsevier Science. 29 (2): 703-710 p.
- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. 1998. Quality water treated by coagulation using *Moringa oleifera*. Elsevier Science. 32 (3): 781-791 p.
- NISHI, L.; MADRONA, S.; VIEIRA, A.; BASSETTI, F.; SILVA, G. Y BERGAMASCO, R. 2011. Coagulação/Floculação com Sementes de *Moringa Oleifera Lam* para Remoção de Cistos de *Giardia* spp. e Oocistos de *Cryptosporidium* spp. da água. “Cleaner Production Initiatives And Challenges For A Sustainable World” São Paulo – Brazil.
- NKURUNZIZA, T.; NDUWAYEZU, J.; BANADDA, E. Y NHAPI, I. (2009). The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. Water Science & Technology. WST. 1551-1558 p.
- OKUDA, T.; BAES, U.; NISHIJIMA, W. y OKADA, M. 1999. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. Elsevier Science. 33 (15): 3373 – 3378 p.
- OKUDA, T.; BAES, U.; NISHIJIMA, W. Y OKADA, M. 2001. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. Elsevier Science. 35 (2): 405–410 p.
- OKUDA, T.; BAES, U.; NISHIJIMA, W. Y OKADA, M. 2001. Coagulation mechanism of salt solution extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. Elsevier Science. 35 (3): 830–834 p.
- OROZCO, C.; PÉREZ, A.; GONZÁLEZ, N.; RODRÍGUEZ, F Y ALFAYATE, J. 2004. Contaminación Ambiental. Una visión desde la química. Primera edición. Editorial Thomson.
- PICAZO, J. 1995. Aguas residuales en la industria agroalimentaria: Caracterización y sistemas de tratamiento y depuración. Granada. Consultado el 6 de marzo 2018. Disponible en: <http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-03.pdf>.

- RADOVICH, T. 2009. Farm and Forestry production and marketing profile for Moringa. Permanent Agriculture Resources. Consultado el 15 de junio 2018. Disponible en: [www.miracletrees.org/moringadoc/production_and_marketing_moringa_farm_and_forestry .pdf](http://www.miracletrees.org/moringadoc/production_and_marketing_moringa_farm_and_forestry.pdf).
- RIGOLA, M. 1999. Tratamiento de aguas industriales. Aguas de procesos y residuales. Editorial Marcocombo.S.A. España.
- ROLDAN, G. 2003. Bioindicación de la calidad de agua en Colombia. Ed. Universidad de Antioquia. Medellin, Co. 175 p.
- ROMERO, A.1999. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Editorial escuela Colombiana de Ingeniería.
- ROMERO, M. 2012. Caracterización y tratamiento de agua residual provenientes de plantas de producción. Tesis para optar por título de Ingeniero Químico. Universidad simón Bolívar.
- RUSSEL V. LENT (2009). Response- Surface methods in R, using rsm. Jour al of statistical software. 32(7), 1 – 17. URL. Consultado el 18 de mayo 2018. Disponible en:[Http://www.jstatsoft.org/org/v32/07](http://www.jstatsoft.org/org/v32/07).
- SÁNCHEZ, J. Y BELTRÁN, J. 2010. La *Moringa oleifera*, un recurso agrosostenible para la potabilización de agua Optimización de la extracción del agente coagulante. Departamento de Ingeniería Química y Química Física Universidad de Extremadura.
- SANDOVAL, M. Y LAINES, J. 2013. *Moringa oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. México. 17 (2): 98 p.
- SARPONG, G. Y RICHARDSON, C. 2010. Coagulation efficiency of *Moringa oleifera* for removal of turbidity and reduction of total coliform as compared to aluminum sulfate. African Journal of Agricultural Research. 5(21): 2939-2944 p.

- SANTOS, A.; LUZ, L.; PONTUAL, E.; NAPOLEAO, T; PAIVA, P Y COELHO, L. 2015. *Moringa oleifera*: Resource Management and Multiuse Life Tree. *Advances in Research* 4(6): 388-402.
- SILVA, CB DA. 2012. Usos potenciales de *Moringa oleifera* Lam. Uma matriz para produção de biodiesel e tratamento de água no semiárido nordestino. Universidad Federal Do Rio Grande Do Norte. Pró – Reitoria de Pós – Graduação. Brasil. 35 p.
- SILVA, CS.; PACHECO, T.; GONÇALVES, D.; ALMEIDA, L.; SILVA, F DA.; MARTINS DE OLIVEIRA, J. 2013. Utilização de sementes de *Moringa oleifera* Lam como alternativa para produção de biodiesel. GEINTEC– ISSN: 2237-0722. 3 (2): 12-25 p.
- UNIDO (United Nations Industrial Development Organization).s/a. Pollution From Food Processing Factories And Environmental Protection. Chapter 26: 1-11p. Consultado el 30 de mayo del 2018. Disponible en: <http://www.unido.org/fileadmin/import/3212925PollutionfromFoodProcessing.7.pdf>.
- VIJAY, K.; RUBHA. M.; MANIVASAGAN, M.; RAMESH BABU, N. Y BALAJI, P. 2012. *Moringa oleifera* - The Nature's Gift. Universal Journal of Environmental Research and Technology. 2 (4): 203-209 p.
- WALKER, J. 2009. Protocolo de proteínas. University of Hertfordshire, Hatfi eld, UK. Tercera edición.
- WESTERMEIER, R. 2001. Electrophoresis in practice. Third edition, WileyVCH, ISBN, 3-527-30300-6, Weinheim, Germany.
- YÁBAR, C. 2003. Manual de procedimientos de electroforesis para proteínas y ADN. Serie de Normas Técnicas N°38. División de Biología Molecular Centro Nacional de Salud Pública. Instituto Nacional de Salud, Lima – Perú. Editorial Artes y diseños Laser S.R.LTDA.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Modelo estadístico del porcentaje de la remoción de la turbidez de efluentes.

```
rsm(formula = PNTU ~ FO(x1, x2) + PQ(x1, x2), data = CR)
```

Factores	Estimate Std	Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	92.24	4.50	20.51	7.3 e-19 ***
Turbidez:x1	20.82	49643.89	5.35	0.00047***
Dosis: x2	-1.66	80303.89	-0.43	0.68024
x1^2	-17.97	934.05	-4.43	0.00164**
x2^2	2.11	4.05	0.52	0.61604

Significado de códigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared: 0.845, Adjusted R-squared: 0.776

F-statistic: 12.3 on 4 and 9 DF, p-value: 0.00109

ANEXO 2: Análisis de variancia del porcentaje de remoción de la turbidez de efluentes.

Factores	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	valor F	Pr(>F)
FO(x1, x2)	2	3490	1745	14.4	< 0.0016
PQ(x1, x2)	2	15382474	7691237	10.2	< 0.0049
Residuals	9	5141092	257121		
Lack of fit	4	26431092	661273	317022.3	< 1.1e-13
Error Residual	5	0	0		

ANEXO 3: Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada

VARIABLES NATURALES		VARIABLES CODIFICADAS		Parámetro		Modelo propuesto
Niveles de Turbidez (NTU)	Niveles de Dosis (mg/L)	Turbidez	Dosis	Resultado de la remoción de la turbidez (NTU)	Porcentaje de la remoción de la turbidez (PTR)	Predicción del porcentaje de remoción de la turbidez (PTR)
500	180	1	-1	34.20	93.16	98.86
500	400	1	1	29.20	94.16	95.54
335	290	0	0	26.00	92.24	92.24
170	180	-1	-1	37.00	78.24	57.22
335	290	0	0	26.10	92.21	92.24
170	400	-1	1	61.40	63.88	53.90
335	134.4	0	-1.414214	32.00	90.45	94.11
101	290	-1.414214	0	93.50	7.43	26.86
335	290	0	0	25.80	92.30	92.24
335	290	0	0	26.00	92.24	92.24
335	290	0	0	26.00	92.24	92.24
568	290	1.414214	0	38.40	93.24	85.74
335	290	0	0	26.00	92.24	92.24
335	445.6	0	1.414214	31.80	90.51	94.11

ANEXO 4: Modelo estadístico de la remoción de color residual de efluentes.

rsm(formula = color ~ FO(x1, x2) + PQ(x1, x2), data = CR)

Factores	Estimate Std	Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	24.1667	1.1680	20.69	6.7 e-09 ***
Turbidez: x1	-11.2175	1.0115	-11.09	1.5 e-06 ***
Dosis: x2	0.3536	1.0115	0.35	0.73
x1^2	7.5417	1.0529	7.16	5.3 e-05 ***
x2^2	0.0417	1.0529	0.04	0.97

Significado de códigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared: 0.951, Adjusted R-squared: 0.929

F-statistic: 43.7 on 4 and 9 DF, p-value: 6.74e-06

ANEXO 5: Análisis de variancia de la remoción de color residual de efluentes.

Factores	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	valor F	Pr(>F)
FO(x1, x2)	2	1008	504	61.5	5.6e-06
PQ(x1, x2)	2	422	211	25.8	0.00019
Residuals	9	74	8		
Lack of fit	4	69	17	17.8	0.00368
Error Residual	5	5	1		

ANEXO 6: Resultados de la remoción de color residual de efluentes.

VARIABLES NATURALES		VARIABLES CODIFICADAS		Parámetro		Modelo propuesto
Niveles de Turbidez (NTU)	Niveles de Dosis (mg/L)	Turbidez	Dosis	Color residual (UC)	Remoción de color (%)	Predicción de la remoción del color (UC)
500	180	1	-1	22	77.78	20.18
500	400	1	1	20	79.80	20.89
335	290	0	0	24	71.76	24.17
170	180	-1	-1	38	44.12	42.61
335	290	0	0	26	69.41	24.17
170	400	-1	1	40	41.18	43.32
335	134.4	0	-1.414214	25	70.59	23.75
101	290	-1.414214	0	60	3.23	55.11
335	290	0	0	23	72.94	24.17
335	290	0	0	24	71.76	24.17
335	290	0	0	24	71.76	24.17
568	290	1.414214	0	22	77.78	23.39
335	290	0	0	24	71.76	24.17
335	445.6	0	1.414214	27	72.73	24.75

ANEXO 7: Modelo estadístico de la conductividad eléctrica residual (mS/cm) del agua tratada.

rsm(formula = conductividad ~ FO(x1, x2) + PQ(x1, x2), data = CR)

Factores	Estimate Std	Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2.4883	0.0246	98.59	5.8 e-15 ***
Turbidez: x1	0.1048	0.0213	4.91	0.00083 ***
Dosis: x2	0.4806	0.0213	22.53	3.2 e-09 ***
x1^2	-0.0617	0.0222	-2.78	0.02148*
x2^2	0.0408	0.0222	1.84	0.09902

Significado de códigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared: 0.984, Adjusted R-squared: 0.976

F-statistic: 136 on 4 and 9 DF, p-value: 4.86e-08

ANEXO 8: Análisis de variancia de la conductividad eléctrica residual (mS/cm) del agua tratada.

Factores	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	valor F	Pr(>F)
FO(x1, x2)	2	1.936	0.968	265.94	9.9 e-09
PQ(x1, x2)	2	0.044	0.022	5.98	0.022
Residuals	9	0.033	0.004		
Lack of fit	4	0.018	0.005	1.62	0.303
Error Residual	5	0.014	0.003		

ANEXO 9: Resultados de la conductividad eléctrica residual (mS/cm) del agua tratada.

VARIABLES NATURALES		VARIABLES CODIFICADAS		Parámetro	Modelo propuesto
Niveles de Turbidez (NTU)	Niveles de Dosis (mg/L)	Turbidez	Dosis	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Predicción de la Conductividad eléctrica (mS/cm)
500	180	1	-1	1.97	2.03
500	400	1	1	2.96	2.99
335	290	0	0	2.45	2.43
170	180	-1	-1	1.87	1.82
335	290	0	0	2.46	2.43
170	400	-1	1	2.83	2.78
335	134.4	0	-1.414214	1.84	1.83
101	290	-1.414214	0	2.09	2.16
335	290	0	0	2.32	2.43
335	290	0	0	2.45	2.43
335	290	0	0	2.45	2.43
568	290	1.414214	0	2.52	2.45
335	290	0	0	2.44	2.43
335	445.6	0	1.414214	3.18	3.19