

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“EFECTO DE LA TORTA DE MORINGA (*Moringa oleifera*) SOBRE  
LA TURBIDEZ REMOVIDA DEL AGUA RESIDUAL DE LA  
ELABORACIÓN DEL NÉCTAR DE MARACUYÁ”**

Presentada por:

**HERMELINDA ALVAREZ CHANCASANAMPA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Lima - Perú

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

“EFECTO DE LA TORTA DE MORINGA (*Moringa oleífera*) SOBRE LA  
TURBIDEZ REMOVIDA DEL AGUA RESIDUAL DE LA ELABORACIÓN DEL  
NÉCTAR DE MARACUYÁ”

**Tesis para optar el Título de:  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Presentada por:  
HERMELINDA ALVAREZ CHANCASANAMPA**

-----  
**Dr. David Campos Gutiérrez  
PRESIDENTE**

-----  
**Dra. Gladys Carrión Carrera  
MIEMBRO**

-----  
**Mg. Sc. Marianela Inga Guevara  
MIEMBRO**

-----  
**Dr. Marcial Silva Jaimes  
ASESOR**

-----  
**Blgo. Juan Juscamaita Morales  
CO-ASESOR**

Lima - Perú  
2016

*Hay tres cosa en la vida que no se puede perder: La esperanza, la paciencia y la honestidad”.*

*Anónimo.*

## ***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 haber iluminado mi camino durante éste periodo de mi vida, por darme la fortaleza para seguir a delante hasta llegar a cumplir mis metas. Además le agradezco por colocar en mí camino a las personas muy generosas, de buen corazón que han permitido que esta investigación se concluya.

Un agradecimiento especial al Blgo. Juan Gabriel Juscamaita Morales, por haberme apoyado desde el inicio de la realización de esta investigación, por su confianza, su apoyo incondicional, paciencia, dirección y valiosos comentarios académicos. Gracias profesor. Por ser mi guía, por sus invaluable enseñanzas a lo largo de la realización de esta tesis y ser una gran persona.

Un agradecimiento especial al Dr. Marcial Ibo Silva Jaimes, por su paciencia, por su constante apoyo, sugerencias y valiosos comentarios académicos. Gracias profesor. Por el apoyo incondicional.

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 y por compartir momentos inolvidables en esta investigación.

Un agradecimiento especial al Mg. Sc. Felipe De Mendiburu Delgado, por su orientación estadístico, por su voluntad y disposición de atender cualquier consulta. Gracias Mg. Sc por su apoyo.

Un agradecimiento especial a la Dra. Gladys Juana Carrión Carrera, por su voluntad en la enseñanza, paciencia y disposición de atender cualquier consulta. Gracias Dra. Por orientarme y compartir sus conocimientos.

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 y ser partícipe de esta investigación. 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 al licenciado Raúl Alvarez Chancasanampa, por su apoyo y sus consejos.

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

Agradeciéndole a la Mg.Sc. Zulema Quinteros Carlos, por sus consejos, su apoyo y sus palabras de aliento.

Agradeciéndole a mis padres (Hermelinda y Timoteo) por darme la vida, el amor dado y enseñarme a ser perseverante ante la adversidad, ser el soporte y ejemplo. A mis hermanos (César, Timoteo, Raúl, Julio César, Viviana y Jurgen), quienes han sido ejemplo de mi formación profesional, por sus consejos, sus críticas y paciencia. A mis sobrinos (Erick, Max, Bianca, Jennifer y Brad) con su pequeña edad, han apoyado en el avance de esta investigación. Agradeciéndolo nuevamente a toda mi familia por la paciencia y el apoyo incondicional.

Agradeciéndole a la facultad de Ingeniería Ambiental y a todos que le integran, por haberme dado las facilidades de hacer uso del laboratorio de ingeniería ambiental, desde el inicio hasta su culminación. Gracias a todos. “Facultad de Ingeniería Ambiental”.

Agradeciéndole a la Ing. Karina Ccapa Ramirez, a la técnica Zahara Prudencio Albino, al técnico Juan Ricardo Maihuire Chipana, al Sr. Máximo Zuñiga García, a la Sra. Rocio López Camargo, al Sr. Paulino Rayos Quispe y al Sr. Pablo Espiritu bautista, a la Srta. Irma Salinas, secretaria del centro federado de Industrias Alimentarias y a la Bibl. Ana Alvariño. Gracias, por la amabilidad, la gentileza, su apoyo y compartir una bonita amistad.

Agradeciéndole a mis amigos (as) Katheryn Lezama, Heber Mozombite, Geraldine Galindo, Paola Reyes, etc.

**“Gracias a todos por su apoyo”**

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEN

## ABSTRACT

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1. MORINGA.....	3
2.1.1. GENERALIDADES .....	3
2.1.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA .....	4
2.1.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA .....	5
2.1.4. CULTIVO DE LA MORINGA EN EL PERÚ .....	6
2.1.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS SEMILLAS .....	7
2.1.6. CARACTERIZACIÓN DE LA TORTA DE MORINGA .....	8
2.1.7. USOS POTENCIALES DE LA MORINGA.....	8
2.2. LA MORINGA COMO COAGULANTE NATURAL.....	9
2.2.1. ACTIVIDAD DE COAGULACIÓN DE MORINGA .....	10
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL EXTRACTO CRUDO DE MORINGA.....	11
2.2.3. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE DE MORINGA.....	12
2.2.4. CARACTERÍSTICAS DEL EXTRACTO DE MORINGA EN CLORURO DE SODIO 1M.....	14
2.3. MECANISMO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN .....	14
2.4. COMPONENTES ACTIVOS DE LA COAGULACIÓN OBTENIDOS DE LA MORINGA.....	16
2.5. AGUAS RESIDUALES.....	17
2.5.1. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA.....	20
2.6. ANTECEDENTES DEL USO DE LA MORINGA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS .....	24
2.7. LEGISLACIÓN AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES .....	26
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	30
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....	30
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.2.1. MATERIALES .....	30
3.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	33
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	36

3.3.1. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA .....	36
3.3.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	36
3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	43
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
4.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE LA TORTA DE SEMILLA DE MORINGA .....	46
4.2. CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO CRUDO DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA .....	47
4.2.1. EFECTO SOBRE LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ.....	47
4.2.2. CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS SOLUBLES EN EL EXTRACTO .....	49
4.2.3. PESO MOLECULAR DE LAS PROTEÍNAS SOLUBLES EN EL EXTRACTO .....	51
4.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL .....	53
4.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO .....	53
4.3.2. EFECTO DEL EXTRACTO CRUDO DE LA TORTA DE SEMILLA DE MORINGA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE NÉCTAR DE MARACUYÁ .....	54
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>81</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>90</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Semilla de Moringa disponible en el Perú 2012.....	7
Tabla 2: Análisis proximal de las semillas de Moringa.....	7
Tabla 3: Caracterización de la torta residual de moringa .....	8
Tabla 4: Formas de la moringa en su actividad de coagulación.....	11
Tabla 5: Características de los extractos crudos de moringa.....	12
Tabla 6: Métodos empleados para extraer las proteínas de la semilla de moringa .....	13
Tabla 7: Características del extracto de moringa en cloruro de sodio.....	14
Tabla 8: Contaminantes principales de diferentes tipos de industrias.....	18
Tabla 9: Características de las aguas residuales de las plantas procesadoras de frutas..	19
Tabla 10: Caracterización de los efluentes de la procesadora de frutas antes y después del tratamiento de coagulación-floculación .....	19
Tabla 11: Valores de DBO <sub>5</sub> y DQO para diferentes alimentos .....	24
Tabla 12: Resumen de los resultados experimentales para las diferentes concentraciones de semilla de moringa y los diferentes niveles de turbidez iniciales. ....	25
Tabla 13: Valores máximos permisibles de aguas residuales no domésticas.....	27
Tabla 14: Valores máximos permisibles de aguas residuales no domésticas.....	28
Tabla 15: Parámetros de calidad de aguas industriales .....	29
Tabla 16: Obtención del extracto crudo de semilla de moringa y la dosis utilizada en la remoción de la turbidez del agua residual.....	44
Tabla 17: La mejor concentración y los parámetros físico químicos evaluados en los diversos tratamientos.....	45
Tabla 18: Análisis químico proximal de la torta de semilla de moringa.....	47
Tabla 19: Resultados promedios de la concentración de la torta y dosis del extracto en la remoción de la turbidez del agua residual. ....	48
Tabla 20: Resultados promedios de la concentración de la torta y tiempo de agitación de extracción en la remoción de la turbidez del agua residual.....	49
Tabla 21: Características físico- químicos del agua residual de néctar de maracuyá.....	54
Tabla 22: Características físico- químicos del agua residual con tratamiento .....	55
Tabla 23: Resultados del pH residual .....	56



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Las zonas coloreadas indican las regiones del mundo donde crece.....	5
Figura 2: Usos potenciales de la planta de moringa. ....	9
Figura 3: Formación de puentes entre partículas en presencia de polímeros orgánicos. ....	16
Figura 4: Flujo de operaciones para la obtención del extracto crudo de torta de semilla de moringa. ....	38
Figura 5: Partes de la toma de muestra. ....	41
Figura 6: Flujo de operaciones para la remoción de la turbidez del agua residual.....	42
Figura 7: Las proteínas solubles de los extractos crudos de la torta de semilla de moringa obtenidos a diferentes tiempos de agitación .....	50
Figura 8: Fraccionamiento electroforético de proteínas al 12 por ciento T: 1= Extracto de moringa extraído a 10 minutos; 2= Extracto de moringa extraído a 35 minutos; 3= Extracto de moringa extraído a 60 minutos y Std= Marcador de peso molecular.....	51
Figura 9: Fraccionamiento electroforético de proteínas al 15 por ciento T: 1= Extracto de moringa extraído a 10 minutos; 2= Extracto de moringa extraído a 35 minutos; 3= Extracto de moringa extraído a 60 minutos y Std= Marcador de peso molecular.....	52
Figura 10: Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la remoción de la turbidez del agua residual.....	59
Figura 11: Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre la remoción de la turbidez del agua residual.....	60
Figura 12: Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la remoción del color del agua residual. ....	63
Figura 13: Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre la remoción del color del agua residual.....	64
Figura 14: Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la conductividad residual del agua residual. ....	66
Figura 15: Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre la conductividad residual del agua residual. ....	67
Figura 16: Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre los sólidos disueltos totales del agua residual.....	69

Figura 17: Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre los sólidos disueltos totales del agua residual. ....	70
Figura 18: Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la remoción de la DBO <sub>5</sub> del agua residual. ....	72
Figura 19: Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre la remoción de la DBO. ....	74
Figura 20: Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la demanda química de oxígeno del agua tratada. ....	76
Figura 21: Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre demanda química de oxígeno del agua tratada. ....	78
Figura 22: Curva estándar de BSA para método de Lowry. ....	90

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Curva Estándar De BSA.....	90
ANEXO 2: Resultado de la remoción de la turbidez.....	91
ANEXO 3: Análisis de variancia del porcentaje de remoción de la turbidez del agua residual.....	94
ANEXO 4: Contenido de proteína soluble en los extractos de moringa.....	95
ANEXO 5: Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada.....	96
ANEXO 6: Análisis de variancia de la remoción de la turbidez (NTU) del agua residual tratada.....	97
ANEXO 7: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis.....	98
ANEXO 8: Promedio de la remoción de la turbidez (NTU).....	98
ANEXO 9: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo.....	99
ANEXO 10: Resultados del color residual del agua tratada.....	100
ANEXO 11: Análisis de variancia de Color Residual (UC) del agua residual tratada.....	101
ANEXO 12: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis.....	102
ANEXO 13: Promedio del color residual (UC).....	102
ANEXO 14: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo.....	103
ANEXO 15: Resultados de la conductividad eléctrica residual (mS/cm) del agua tratada.....	104
ANEXO 16: Análisis de variancia de la conductividad residual (mS/cm) del agua residual tratada.....	105
ANEXO 17: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis.....	106
ANEXO 18: Promedio de la conductividad residual (mS/cm) del agua residual tratada.....	106
ANEXO 19: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo.....	107

ANEXO 20: Resultados de los Sólidos Disueltos Totales (mg/L) del agua residual tratada .....	108
ANEXO 21: Análisis de variancia de los sólidos disueltos totales (mg/L).....	109
ANEXO 22: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis.....	110
ANEXO 23: Promedio de los sólidos Disueltos Totales (mg/L).....	110
ANEXO 24: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo.....	111
ANEXO 25: Resultados de Demanda bioquímica de oxígeno del agua residual tratada .....	112
ANEXO 26: Análisis de variancia de la Demanda bioquímica de oxígeno del agua residual tratada. ....	113
ANEXO 27: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis.....	114
ANEXO 28: Promedio de la demanda bioquímica de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L) .....	114
ANEXO 29: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo.....	115
ANEXO 30: Resultados de la Demanda química de oxígeno del agua residual tratada .....	116
ANEXO 31: Análisis de variancia de la Demanda química de oxígeno del agua residual tratada .....	117
ANEXO 32: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis.....	118
ANEXO 33: Promedio de la demanda química de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L) .....	118
ANEXO 34: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo.....	119

## RESUMEN

La presente investigación, tuvo como objetivo evaluar el efecto del extracto crudo de la torta de moringa (*Moringa oleifera*) sobre la turbidez removida del agua residual de la elaboración del néctar de maracuyá. Los resultados fueron analizados con la ayuda del software R, el diseño experimental utilizado fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), siendo los factores: Concentración de la torta de moringa (5 000, 12 500 y 20 000 mg/L), tiempo de agitación de extracción (10, 35 y 60 min) y las dosis del extracto (125, 175 y 225 mg/L) para el tratamiento del agua residual y la variable respuesta fue la remoción de la turbidez. Previamente se analizó la torta de moringa se encontró 45,86 por ciento de proteína cruda, 17,72 por ciento de grasa cruda, 3,15 por ciento de fibra cruda, 4,64 por ciento de cenizas totales, 21,02 por ciento de carbohidratos y 7,61 por ciento de humedad. El mejor extracto de moringa crudo que presentó buenos resultados de remoción de la turbidez fue a una concentración de 20 000 mg/L, con tiempos de agitación para la extracción, de 35 y 60 minutos y una dosis de 125 mg/L, permitió la reducción de la turbidez en un 82 por ciento. Los extractos de esta concentración obtenidos a diferentes tiempos de agitación de extracción, se caracterizó mediante 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. Finalmente se analizaron los parámetros físico – químicos del agua residual tratada; encontrándose que el valor de pH no presentó modificaciones significativas, alrededor de 3,56 a 3,59; la remoción de turbidez de 82,72 por ciento, el color de 73,43 por ciento; la conductividad de 1,28 mS/cm, los sólidos disueltos totales (SDT) de 511,33 mg/L, la demanda biológica de oxígeno (DBO) de 3 843,15 mg O<sub>2</sub>/L y la demanda química de oxígeno (DQO) de 6 545,44 mg O<sub>2</sub>/L.

**Palabras claves:** Aguas residuales, extracto de semilla de moringa, *Moringa oleifera*, remoción de la turbidez, torta de moringa.

## ABSTRACT

This research aimed to assess the crude extract effect of Moringa cake (*Moringa oleifera Lam*) on the turbidity removal of the residual water from the elaboration of passion fruit nectar. Results were analyzed through the software R, the experimental design used was a completely randomized design (CRD), being the factors: Moringa cake concentration (5 000, 12 500 y 20 000 mg/L), agitation time to extract the crude extract (10, 35 and 60 minutes) and the doses of crude extract to the treatment of the residual water (125, 175 y 225 mg/L) and the response variable was the turbidity removal. Previously seed Moringa cake was analyzed, finding itself 45,86 per cent of crude protein, 17,72 per cent of crude fat, 3,15 per cent of crude fiber, 4,64 per cent of total ashes, 21,02 of carbohydrates and 7,61 of humidity. Concentration of 20 000 mg/L, with agitation times between 35 and 60 minutes to extraction of Moringa crude extract and a dosis of 125 mg/L was the best treatment, where the turbidity reduces in a 82 percent. The extract of concentrations gotten of different times of extraction agitation, crude extracts of Moringa cake were characterized through electrophoresis in gel of poliacrialamida (PAGE-SDS), finding a major band of polypeptide of 6,5 kDa, which would be the main causative of the coagulation. Finally physic-chemical parameters of residual water treated were analyzed; finding itself that pH value didn't present significant changes, around 3,56- 3,59, the turbidity removal of 82,7 per cent and color of 73,4 per cent, the conductivity of 1,28 mS/cm, total dissolve solids (TDS) of 511,33 mg/L, oxygen biological demand (BOD) of 3 843,15 mg O<sub>2</sub>/L and oxygen chemistry demand (COD) of 6 545,44 mg O<sub>2</sub>/L.

**Key words:** Sewage, extract of Moringa seed, *Moringa oleifera*, turbidity removal, Moringa cake.

## I. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria utiliza un volumen importante de agua, en todas las etapas de la producción dependiendo del tipo de producto a elaborar, la técnica empleada, etc. (Llaneza, 2012), generando grandes volúmenes de residuos sólidos y residuos líquidos. Los residuos líquidos, contienen alta carga de contaminantes, principalmente materia orgánica, sólidos en suspensión y sólidos sedimentables. Es una preocupación, la descomposición de la materia orgánica, por que podría provocar la disminución de oxígeno en las vías acuáticas, del medio ambiente receptor, produciendo la muerte de especies superiores y generando la descomposición microbiana, en ausencia de oxígeno, también pueden producir gases nocivos y maloliente, como el metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. Mientras tanto los sólidos en suspensión, como sólidos sedimentables, pueden producir la disminución de la transparencia del agua, obstaculizando el funcionamiento de las plantas y los seres vivos acuáticos (Comisión Nacional del medio ambiente, 1998).

El agua residual sin tratamiento, podría producir contaminación en las aguas receptoras, ya que el material contaminante es el material orgánico. Por ello, para minimizar el impacto ambiental, antes de realizar la descarga del efluente, deberían ser sometidos a un pre-tratamiento, para evitar los problemas ambientales. Normalmente se realiza el tratamiento primario en todo el mundo utilizando el sulfato de aluminio ( $Al_2SO_4$ ). Algunos autores 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 presentan 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». Si bien en los países desarrollados las políticas y legislaciones medio ambientales son más estrictas que en los países en vías de desarrollo,

se han adaptado una serie de tecnologías tradicionales para eliminar la turbidez del agua en el ámbito doméstico, utilizando extractos naturales, una de ellas, la semillas de moringa, 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).

Por ello el objetivo de esta investigación plantea incorporar una etapa de pre-tratamiento utilizando el extracto crudo de la torta de moringa sobre la turbidez removida del agua residual procedente de la elaboración del néctar de maracuyá, para lo cual se determinarán:

- La mejor concentración del extracto crudo de la torta de la semilla de moringa para maximizar la remoción de la turbidez del agua residual de la elaboración del néctar de maracuyá.
- La mejor dosis del extracto crudo de la torta de la semilla de moringa para maximizar la remoción de la turbidez del agua residual de la elaboración del néctar de maracuyá.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. MORINGA

#### 2.1.1. GENERALIDADES

Según Radovich (2009) menciona que «el marango (*Moringa oleifera* 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 (Cruz *et al.*, 2013). El marango se encuentra diseminado en una gran parte del planeta (Foidl *et al.*, 1999).

Liñan (2010) menciona que «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) indica que «las semillas son de forma redonda y color castaño oscuro con 3 alas blanquecinas». Cada árbol puede producir de 15 000 a 25 000 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 contiene entre 30 y 42 por ciento de aceite y su torta contiene un 60 por ciento 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 por ciento». 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).

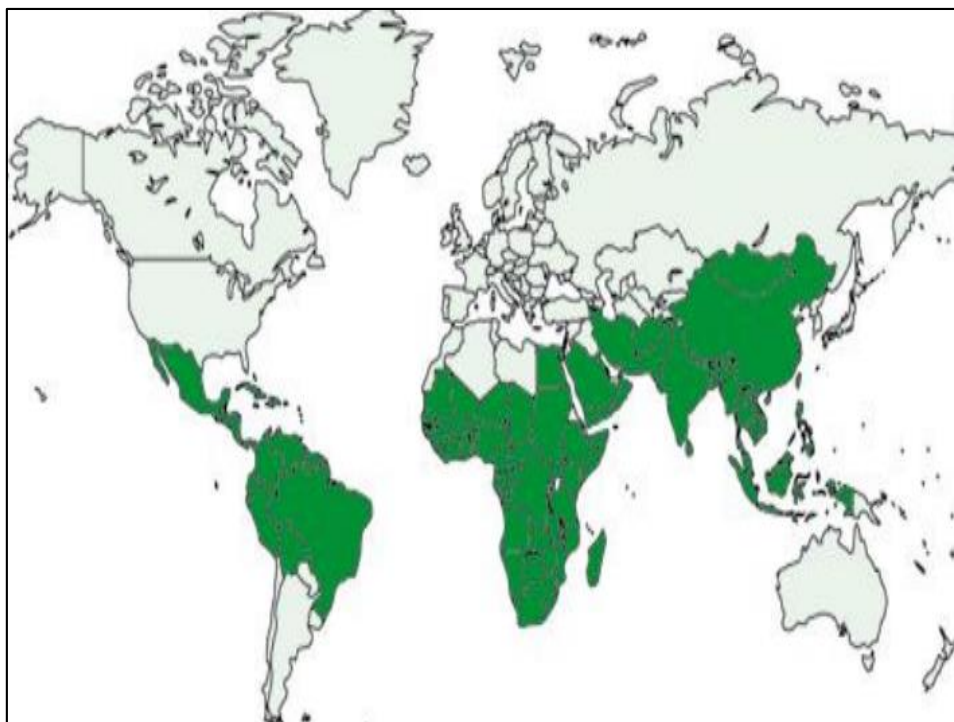
## 2.1.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

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

- FAMILIA	: <i>Moringaceas</i>
- ORIGEN	: <i>Capparidales</i>
- CLASE	: <i>Magnoleopsida</i>
- GÉNERO	: <i>Moringa</i>
- ESPECIE	: <i>Arbórea, concanensis, drocanesis, drouhardii, hildebrandtii, pygmaea, peregrina, ovalaifolia, rospoliana, stenopetala, rivae, oleifera y borziana.</i>
- NOMBRES VULGARES	:Behenbaum (alemán); West Indian ben (inglés); Benzolive (francés); Sándalo cerúleo (italiano); Moringuiera (Portugal); Cedra (Brasil); Árbol del ben, Morango, Moringa (español); Dandalonbin (Burma); Ángela (Colombia); Marango (Costa Rica); Palo Jeringa, Palo de Tambor (Cuba); Palo de abejas (República Dominicana); Teberino (El Salvador); Sajina (Fiji); Perlas, Paraíso blanco (Guatemala); Saijhan (Guyana); Benzolive, Benzolivier, Ben oleifere (Haiti); Maranga calalu (Honduras); Sahijna, Sarinjna (Hindú); Kalor, Kelor (Indonesia); Névrédé (Malí); Marengo (Nicaragua); Jacinto (Panamá); Malunkai (Filipinas); Resada, Ben, Jasmín francés (Puerto Rico); Nébéday, Sap-Sap (Senegal); Dangap (Somalia); Murunga (Sri Lanka); Ruwag, Alim (Sudán); Kelor (Surinam); La mu (Taiwán); Mlonge (Tanzania); Mupulanga, Zakalanda (Zimbabwe).

### 2.1.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Gómez (2013) menciona que «la moringa crece en zonas áridas, semiáridas, tropicales y subtropicales». Es cultivada y utilizada en muchas zonas del mundo: África, Sudeste Asiático, Arabia, Sudamérica e Islas caribes y América Latina (Santos *et al.*, 2015). Además Radovich (2009) indica que «para tener un óptimo crecimiento y alta producción de vainas y hojas, la temperatura óptima fluctúa entre 25 a 30 °C, temperaturas inferiores de 20 °C, genera un decrecimiento». En la Figura 1 las zonas coloreadas indican las regiones del mundo donde crecen y se utilizan actualmente la moringa.



**Figura 1:** Las zonas coloreadas indican las regiones del mundo donde crece y se utiliza la moringa actualmente.

**FUENTE:** Balbir (s/n).

#### **2.1.4. CULTIVO DE LA MORINGA EN EL PERÚ**

Según la Agencia Peruana de Noticias (2010), «en nuestro país la moringa crece en la Costa y en la Selva, en terrenos de hasta 1 500 metros sobre el nivel del mar y se cultiva principalmente en Ica, Piura, Lambayeque, Trujillo, Huacho, entre otras zonas». Según se menciona el reto de cultivar esta planta nutritiva en tierras peruanas es producto del esfuerzo de los ingenieros Jorge Chepote Gutiérrez, Iván Murat Alcova y Oscar Granados Aliaga, quienes desarrollaron un proyecto piloto de moringa en el fundo El Arenal, tras comprobar su adaptabilidad, se han proyectado sembrar 500 hectáreas.

La misma fuente indica «con el propósito de reducir los índices de desnutrición infantil, el Ministerio de Agricultura (MINAG) y el programa sembrando incentivarán el cultivo de la moringa, planta muy nutritiva, en la India y África es conocida como “el árbol de la vida. El MINAG a través de Agro-Rural, permitió la siembra de cuatro hectáreas experimentales en Lambayeque (Villacurí) y en los fundos iqueños el Escondido y el Arenal».

El Ministerio de Agricultura sostiene que «seguirá promoviendo la siembra de este árbol en nuestro país, siguiendo las etapas de experimentación, validación y comercialización, considerando que su cultivo contribuirá a reducir la desnutrición que aqueja especialmente a la niñez, y su cultivo podría masificarse en zonas de la costa y selva».

Según Agronegocios (2013) «el proyecto desarrollado por el Ing. Chepote, ha logrado obtener semillas de moringa de buena calidad. En el primer año se cosechan 1 000 kg, en el segundo año 2 000 kg y a partir del tercer año a más se cosecha entre 2 500 a 3 500 kg por Ha respectivamente».

Así mismo López y Quiñones (2013) nos informan que en el Perú, en el año 2012, se sembraron aproximadamente 730 Ha, en los diferentes departamentos de Ica, Piura y Lambayeque, como se puede observar en la Tabla 1.

**Tabla 1: Semilla de Moringa disponible en el Perú 2012**

Lugar de cultivo	Ha (2012)	Ton. (Frescas)	Ton. (Harina)
ICA (Fundo el Arenal Valle de Villacurí).	500	1 250	231
PIURA (Wilfredo Rodríguez)	100	250	46
Punto 9 (Moringalife – Dr. Arriola)	120	300	56
Pátapo (Agrorural – Bernardino Lalopu).	10	25	5
		1 825	338
	A exportar (80por ciento)	1 460	270,4

**FUENTE:** López y Quiñones (2013).

### 2.1.5. 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 2 se observa los resultados del análisis proximal de las semillas de moringa.

**Tabla 2: 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).

### 2.1.6. 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 (ver Tabla 3). La extracción del aceite fue realizado utilizando solvente en el equipo de soxhlet.

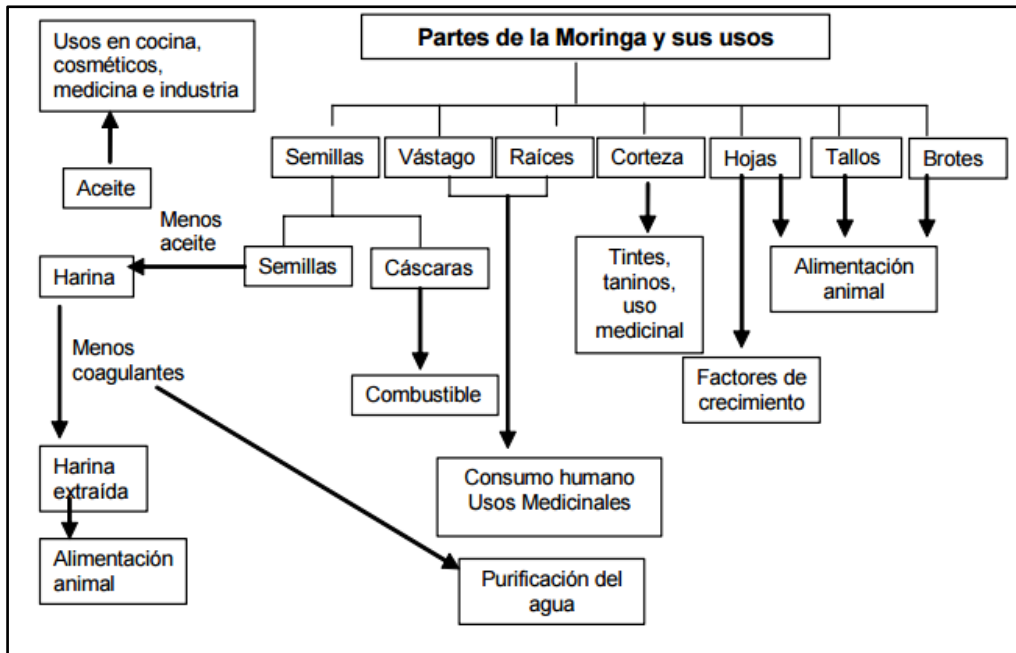
**Tabla 3: Caracterización de la torta residual de moringa**

<b>Características</b>	<b>Composición (base húmeda)</b>
Humedad (%)	7,7
Proteínas (%)	60,3
Lípidos totales (%)	1,03
Cenizas (%)	6,05

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

### 2.1.7. USOS POTENCIALES DE LA MORINGA

Foidl *et al.* (2001) indica que las diferentes partes de la planta de la moringa, son utilizadas para uso agrícola e industrial (Figura 2). Además Bruhns (2011) menciona que «es un alimento completo, así las vainas verdes, se consumen como frijoles»; las semillas son consumidas tostadas como un maní y las hojas tiernas son consumidos en sopas y ensaladas (Foidl *et al.*, 2001). Así mismo Arias (2014) las semillas y las tortas se utilizan como fertilizantes y clarificador de aguas; las hojas, como abono, biogás y biopesticidas, etc.



**Figura 2:** Usos potenciales de la planta de moringa.

**FUENTE:** Foidl *et al.* (2001).

## 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).

En los países en vías de desarrollo, muchas personas utilizan los ríos como su principal fuente de agua. Esta puede estar turbia y muy contaminada, transportando materiales sólidos, bacterias y otros microorganismos. Para eliminar el material sólido suspendido

del agua, utilizan coagulantes naturales como la semilla de moringa (Folkard y Sutherland, 1996).

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 (60por ciento), 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 MORINGA**

Ndabigengesere *et al.* (1995) define a la actividad de coagulación como una evaluación cualitativa, esta propiedad se manifiesta mediante la formación de flóculos visible. Además informaron que la actividad de coagulación fue calificada de " presente", cuando la remoción de la turbidez fue del 80-90 por ciento. Por el contrario, si la remoción de la turbidez fue por debajo del 30 por ciento, fue calificado como "ausente". En la Tabla 4 se observa la actividad de coagulación de la moringa (vainas verdes, vainas secas, corteza de vainas y corteza de semillas).



**Tabla 4: Formas de la moringa en su actividad de coagulación**

<b>Formas de moringa</b>	<b>Actividad de coagulación</b>
<b>Vainas verdes:</b>	
-Vainas enteras	ausente
- Semillas	ausente
- Corteza de vainas verdes	ausente
- vainas verdes secadas	ausente
<b>Vainas secadas:</b>	
--Vainas enteras	ausente
<b>--Semillas no descascaradas</b>	
No filtrado	presente
Filtrado	presente
Residuos sólidos	ausente
<b>--Semillas descascaradas</b>	
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 EXTRACTO CRUDO DE MORINGA**

Ndabigengesere y Narasiah (1998) investigaron las características del extracto crudo de las semillas de moringa (descascaradas y no descascaradas) (ver Tabla 5). 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 5: Características de los extractos crudos de moringa**

Parámetro	Semillas descascaradas	Semillas no descascaradas
pH	6,4	5,8
Conductividad ( $\mu\text{mho cm}^{-1}$ )	1 500,0	1 700,0
Alkalinity ( $\text{mg L}^{-1}$ como $\text{CaCO}_3$ )	246,0	60,0
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	14,5	15,2
$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	47,9	30,6
$\text{Na}^{+}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	13,4	24,4
$\text{K}^{+}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	42,9	63,6
$\text{Fe}^{3+}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	3,0	5,0
$\text{Cl}^{-}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	19,0	11,0
$\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	9,0	8,0
$\text{NO}_3^{-}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	110,0	140,0
$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	208,0	187,0
Carbono Orgánico Total- TOC ( $\text{mg L}^{-1}$ )	4 760,0	3 678,0
Demanda Química de oxígeno ( $\text{mg L}^{-1}$ )	15 000,0	9 630,0
Nitrógeno total Kjeldahl -TKN ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1 193,0	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 6 se observa diferentes métodos empleados para la elaboración del extracto de moringa.

**Tabla 6: Métodos empleados para extraer las proteínas de la semilla de moringa**

AUTOR	SOLVENTE	CONDICIONES
Ndabigengesere y Narasiah, 1998	Agua	5 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> descascarada sin grasa/ 100 ml agua de grifo.
	Agua	5 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> no descascarada sin grasa/ 100 ml agua de grifo.
Okuda <i>et al.</i> , 1999	solución salina	5 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 500 ml de solución salina 1 M.
Okuda <i>et al.</i> , 2001	solución salina	10 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 1000 ml de solución salina 1 M de NaCl.
Ghebremichael, 2005	Agua destilada	5 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> desgrasada/ 100 ml de agua destilada.
Caldera <i>et al.</i> , 2007	Agua destilada	2.5 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 250 ml de agua destilada.
Morales <i>et al.</i> ., 2009	Agua	200 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> /1000 ml agua.
Nkurunziza <i>et al</i> 2009	solución salina	3 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 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 <i>Moringa oleifera</i> triturada/ 100 ml de agua destilada.
Garcia <i>et al.</i> , 2013	Agua destilada	0.49 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> desgrasada / 700 ml de agua destilada.
Sandoval y Laines, 2013	Agua destilada	10 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> sin grasa/1000 ml agua destilada.
	solución salina	10 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> sin grasa/1000 ml de NaCl 1 M.
Feria <i>et al.</i> , 2014	Agua destilada	1 g de torta de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 50 ml agua destilada.
	solución salina	1 g de torta de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 50 ml de solución salina 1 M.
Kunal (s/a)	Agua	2 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 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 7 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 7: Características del extracto de moringa en cloruro de sodio**

<b>Purificación</b>	<b>Carbono Orgánico Total (TOC) (mg de carbono L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Proteínas (mg BSA L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Azúcares (mg de glucosa L<sup>-1</sup>)</b>
Antes de la purificación	1 735	3 166	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

Andia (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 que 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).

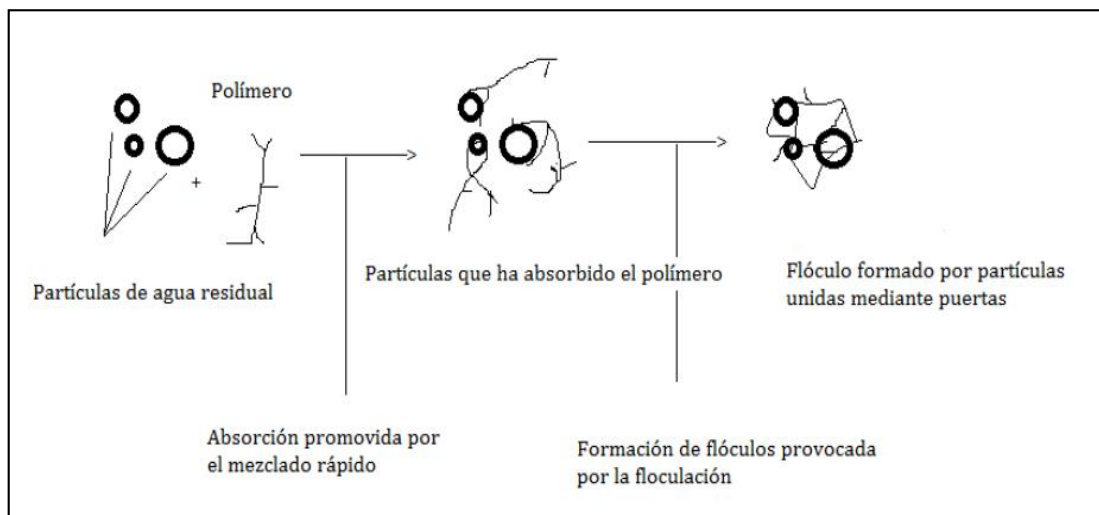
La adición de iones son determinantes del potencial, porque va a permitir que se produzca la coagulación. Así mismo la adición de bases o ácidos fuertes, que genere la reducción de los valores próximos a cero, la carga de los hidróxidos u óxidos metálicos, va generar que se dé la coagulación. También 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. Y
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 y Eddy, 1995). En la Figura 3 se observa la acción del polímero sobre las partículas del agua residual.



**Figura 3:** Formación de puentes entre partículas en presencia de polímeros orgánicos.  
**FUENTE:** Metcalf y Eddy (1995).

#### 2.4. COMPONENTES ACTIVOS DE LA COAGULACIÓN OBTENIDOS DE LA MORINGA

Ndabigengesere *et al.* (1995) mencionan que «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 poliácrylamide (SDS-PAGE) en condiciones reductoras y no reductoras, usando geles de 15 por ciento. 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) indica 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 polielectrólito orgánico con peso molecular aproximadamente 3,0 kDa. Por otro lado Ghebremichael *et al.* (2005) señalan que «la masa molecular del extracto de

moringa purificado determinado por SDS-PAGE en un mini gel de 10 por ciento, 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». Los hallazgos ligeramente discordantes obtenidos por los investigadores, de acuerdo a Gassenchmidt *et al.* (1995) citados por Ghebremichael *et al.* (2005) significaría que estas semillas, presentan más de una familia de proteína con actividad floculante.

## **2.5. AGUAS RESIDUALES**

Orozco *et al.* (2004) define «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 y Eddy (1995) indica que «conocer 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 8 se muestran los contaminantes más importantes en los diferentes tipos de las industrias, considerando los contaminantes principales y secundarios. En la Tabla 9 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 10 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 8: 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 industria (puede contribuir)
5 DQO	11 Fenoles	
6 DBO	12 Salinidad	

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



**Tabla 9: Características de las aguas residuales de las plantas procesadoras de frutas**

Agua residual	Valores de pH	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	Nitrógeno total (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Fuente
Planta procesadora de frutas	5,1- 6,1	2 095- 2 735	4 045- 8 588	13.6 - 26.9	8,7 – 22,6	Asociación Alemana de Saneamiento (1989)
Zumo de manzana	-	2 500	5 500	26,5	21	Llaneza (2012)

**Tabla 10: Caracterización de los efluentes de la procesadora de frutas antes y después del tratamiento de coagulación-floculación**

Nº de muestras	Antes del tratamiento			Después del tratamiento			
	NTU	DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	pH	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>		Polycat CS-5460	
				NTU	DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	NTU	DBO (mg O <sub>2</sub> /L)
1	168	4 380	5,5	5,2	218	4,0	158
2	176	4 670	4,8	6,0	265	4,5	126
3	183	5 020	4,3	6,5	300	3,0	192
4	205	5 650	5,0	6,8	383	2,5	189
5	179	4 880	4,6	5,5	338	3,0	176
6	188	5 320	5,0	6,7	310	3,5	168
7	185	5 100	5,1	6,1	347	3,1	159
8	181	4 970	4,9	5,4	286	5,0	235
9	192	5 400	4,7	6,0	305	2,8	171
10	199	5 450	4,2	5,5	360	3,2	164

**FUENTE:** Alcarraz e 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 y Eddy, 1995).

- **Color**

Según Orozco *et al.* (2004) mencionan que «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) indica que «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) indica que «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 y Eddy, 1995).

- **pH**

CEPIS (2004) menciona que «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 20 000 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 (DBO<sub>5</sub>)**

Orozco *et al.* (2004) define que «La DBO<sub>5</sub>, 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 O<sub>2</sub> /L (ppm O<sub>2</sub>)».

Según Orozco *et al.* (2004) señala que «los valores elevados de DBO<sub>5</sub> indican una alta concentración de materia orgánica biodegradable». Además reportan algunos valores de la DBO<sub>5</sub> en diferentes muestras de aguas:

- Agua limpia: DBO<sub>5</sub> < 3 mg O<sub>2</sub> /L
- Limpieza intermedia: DBO<sub>5</sub> 3 - 5 mg O<sub>2</sub> /L
- Agua contaminada: DBO<sub>5</sub> > 8 mg O<sub>2</sub> /L
- Residuos urbanos: DBO<sub>5</sub> 100 - 400 mg O<sub>2</sub> /L
- Industria alimentaria: DBO<sub>5</sub> hasta 10 000 mg O<sub>2</sub> /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 O<sub>2</sub> /L, representando la cantidad de oxígeno equivalente al oxidante químico utilizado en la determinación (Orozco *et al.*, 2004).

Según Orozco *et al.* (2004) indica que «existe una relación entre la DBO<sub>5</sub> 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:

- DBO<sub>5</sub> / DQO < 0,2 indican presencia de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable.
- DBO<sub>5</sub> / 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 DBO<sub>5</sub> 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 DBO<sub>5</sub> y DQO es variable, va depender el tipo de producto que se procesa. En la Tabla 11 se observa los valores de la DBO<sub>5</sub> y DQO del agua residual para los diferentes tipos de alimentos.

**Tabla 11: Valores de DBO<sub>5</sub> y DQO para diferentes alimentos**

Diferentes procesamiento de alimentos	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> / l)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	DBO <sub>5</sub> /DQO
Productos de panadería	3 200	7 000	0,46
Procesamiento de leche	2 700	4 700	0,57
Mermeladas y jaleas	2 400	4 000	0,6
Envasado de carne	1 433	2 746	0,52
Especialidades de carne	530	900	0,59
Procesador de aves de corral	1 306	1 581	0,83

**FUENTE:** Unido(s/a).

## 2.6. ANTECEDENTES DEL USO DE LA MORINGA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS

Ndabigengesere *et al.* (1995) utilizó semilla de moringa al 5 por ciento 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 por ciento y con una concentración óptima de 500 mg/L de coagulante. A la vez, Nkurunziza *et al.* (2009) preparó una solución al 3 por ciento (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 (ver Tabla 12). Se

observa que en el agua con una turbiedad inicial del 50 NTU la remoción fue de 83,2 por ciento, mientras que el agua con alta turbiedad inicial de 450 NTU fue más alta la remoción de 99,8 por ciento con dosis de 150 mg /L; y dosis de 125 mg /L para otros niveles de turbidez analizadas.

**Tabla 12: 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 moringa oleifera (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) Comparó 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 por ciento; para la preparación del coagulante natural usó: 10 ml de solución salina de NaCl, al 1,0 por ciento 0,10 gramos de polvo de semillas de moringa desengrasada, la solución se centrifugó durante 10 minutos a 6 000 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 por ciento y el 85 por ciento, 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 por ciento y 98,4 por ciento 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 por ciento. 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<sup>-1</sup> de polvo de moringa. Obteniendo los mejores resultados de remoción de la turbidez con la dosis de 200 mg.L<sup>-1</sup> de polvo de semilla de moringa (1 NTU).

Madsen *et al.*(1987) citados por Vijay *et al.* (2012) menciona que «utilizaron la 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 por ciento acompañado por una reducción bacteriana de 1-4 unidades de registro (90-99,9 por ciento)». 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 por ciento.

## **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 13 y 14. Según este Decreto Supremo mencionan que los usuarios no domésticos, cuyas descargas



sobrepasen los valores contenidos en Tabla 13, 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 14 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).

En la tabla 15 se puede observar los parámetros de calidad de aguas residuales industriales a nivel internacional.

**Tabla 13: Valores máximos permisibles de aguas residuales no domésticas**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>VMA</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1 000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	500
Aceites y Grasas	mg/L	100

**FUENTE:** Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

**Tabla 14: Valores máximos permisibles de aguas residuales no domésticas**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Expresión</b>	<b>VMA para descargas al sistema de alcantarillado sanitario</b>
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 <sup>-</sup>	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr <sup>+6</sup>	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 <sup>-2</sup>	1 000
Sulfuros	mg/L	S <sup>-2</sup>	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH <sup>+4</sup>	80
pH	unidad	pH	6 - 9
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

**FUENTE:** Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

**Tabla 15: Parámetros de calidad de aguas industriales**

Parámetros	Unidad	INTERNACIONALES	
		Ind. Frutas, verduras, refrigerados	
		I	II
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg /L	90	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	0,3	10
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	0,5
pH	unidad	6,5-8,5	6,0-10

I: vertidos para cuerpos receptores.

II: Vertidos al alcantarillado público.

**FUENTE:** Carrión (2009).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

La presente investigación se llevó a cabo en los siguientes centros de investigación:

- Laboratorio de Biotecnología Ambiental - Biorremediación de la Facultad de Ciencia. Universidad Nacional Agraria la Molina
- Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Laboratorio de Investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias. 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**

Para la investigación se empleó torta de moringa para la elaboración del extracto crudo. Las semillas de *Moringa oleifera* fueron proporcionadas por la empresa FUNDO ESCONDIDO S.A.C. Ubicada en el departamento de Ica.

## **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.
- Frascos winkler
- Jeringas hipodérmicas desechables de 10 a 60 cm<sup>3</sup> 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 µL, 20 -200 µL, 100- 1000 µL.

## **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).
- Centrífuga (EPPENDORF, Modelo 5415 C. USA).
- Conductímetro (WTW, Modelo 330. GERMANY).
- Digestor (HACH, Modelo DRB 200. USA).

- Equipo de pruebas de jarras (PHIPPS & BIRD, Modelo Richmond. USA).
- 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).
- Mufla (SXHIMAGEN).
- Potenciómetro (WTW, Modelo InoLab. USA).
- Turbidímetro (HACH, Modelo 2100P. USA).

#### **d. REACTIVOS**

- Acetona (J. T. Baker).
- Ácido acético glacial 100por ciento (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).
- Viales de reactivo para el DQO (rango 20 – 1500 mg / L) (Hach).

### 3.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS

#### a. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA TORTA DE MORINGA

El análisis químico proximal de la torta de semilla de moringa, fue sometido a los siguientes análisis:

- **Humedad**

La determinación de la humedad, se realizó de acuerdo al método AOAC N° 925.40 (2012). 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 N° 950.48 (2012).

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 N° 948.22 (2012). 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 N° 935.53 (2012).

- **Cenizas totales**

La determinación de la ceniza se realizó de acuerdo al método AOAC N° 950.49 (2012). 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 EXTRACTO CRUDO DE LA TORTA DE SEMILLA DE MORINGA**

- **Proteínas solubles**

Se determinó las proteínas solubles del extracto crudo de la torta de semilla de moringa, utilizando el método de Lowry *et al.* (1951), siguiendo las instrucciones descritas por Waterborg (1984) citado por Walker (2009). Por ello se construyó la curva estándar (ver Anexo 1) que permitió determinar la concentración de la proteína soluble.

- **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 por ciento T (acrilamida/bisacrilamida), respectivamente, utilizando un agente desnaturante SDS (Dodecilsulfato sodico), siguiendo el protocolo Laemmli (1970) descrito por Yábar (2003).

## **c. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL**

Los parámetros físicos químicos evaluados fueron: pH, turbiedad, color, conductividad, sólidos disueltos totales, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno.



- **Turbiedad**

Se determinó con el Método estándar N° 2130 B (APHA, 1998), 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).

- **pH**

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

- **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 N° 2510 B (APHA, 1998).

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

- **Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales fueron estimados a partir del conductímetro. Se reportó en unidades de mg/L.

- **Demanda bioquímica de oxígeno**

Se determinó con el Método estándar N° 5210 B (APHA). Se reportó en unidades mg O<sub>2</sub>/L.

- **Demanda química de oxígeno**

Se determinó con el Método estándar N° 5210 B (APHA). Se reportó en unidades mg O<sub>2</sub>/L.

### **3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA**

##### **a. SEMILLA DE *MORINGA OLEIFERA***

Se empleó torta de moringa para la elaboración de los extractos crudos.

#### **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 CRUDO 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 extracto crudo de torta de semilla de moringa. Las etapas del proceso se muestran en la Figura 4 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 aproximadamente.

- **Tamizado**

La torta de semilla de moringa, se tamizó con una malla de 100 mesh (diámetro 0,149 mm).

- **Pesado**

Se pesó 5 000; 12 500 y 20 000 mg de torta de semilla de moringa, previamente tamizada.

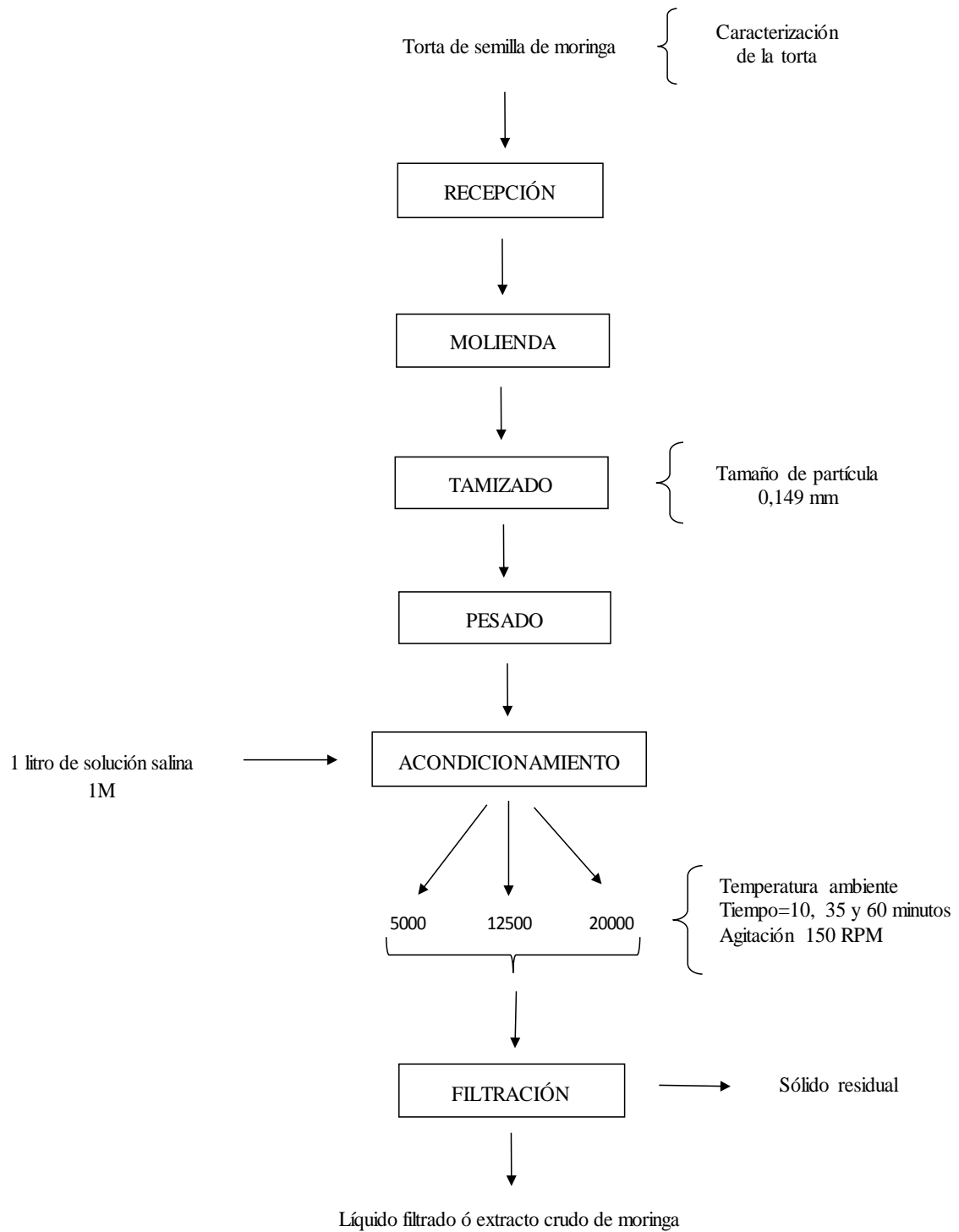
- **Acondicionamiento para la extracción del extracto crudo de torta de semilla de moringa**

La elaboración de los extractos crudos 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 pesaron diferentes cantidades de torta de semilla de moringa 5 000, 12 500 y 20 000 miligramos respectivamente, posteriormente se colocaron en beakers de un litro y se enrazó con el solvente.
- Luego, se utilizó el equipo de prueba de jarras, en la cual se agitó las muestras a una velocidad de 150 rpm, se utilizó diferentes tiempos de agitación para cada muestra de: 10, 35 y 60 minutos respectivamente, todo el proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente. (Ver Figura 4).

- **Filtración**

Luego de concluir con la agitación, se procedió a filtrar en papel filtro Whatman # 42 (Ndabigengeserei y Narasiah, 1998).



**Figura 4:** Flujo de operaciones para la obtención del extracto crudo de torta de semilla de moringa.

**FUENTE:** Elaboración propia.

### **c. CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO CRUDO DE LA TORTA DE SEMILLA DE MORINGA**

- **Proteínas solubles**

Se determinó las proteínas solubles del extracto crudo de la torta de semilla de moringa, en la solución patrón que generó una máxima remoción de la turbidez, tomando en cuenta los tiempos de agitación de la extracción de 10, 35 y 60 minutos. Según el método de Lowry *et al.* (1951), siguiendo las instrucciones descritas por Waterborg (1984) citado por Walker (2009). Por ello se construyó la curva estándar (Anexo 1) que permitió determinar la concentración de la proteína soluble.

- **Electroforesis**

Se determinó el peso molecular del extracto crudo de la torta de semilla de moringa, en la solución patrón que generó una máxima remoción de la turbidez, mediante la electroforesis en geles de poliacrilamida con SDS (SDS-PAGE), con 12 y 15 por ciento T (acrilamida/bisacrilamida), respectivamente, utilizando un agente desnaturizante 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 agua residual de la elaboración del néctar de maracuyá.

Para la investigación se usó 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 el más ampliamente utilizado para evaluar y optimizar los procesos de coagulación – floculación». Además Ndabigengesere *et al.* (1995) 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 del agua residual, se muestran en la Figura 6 y se describen a continuación:

- **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**

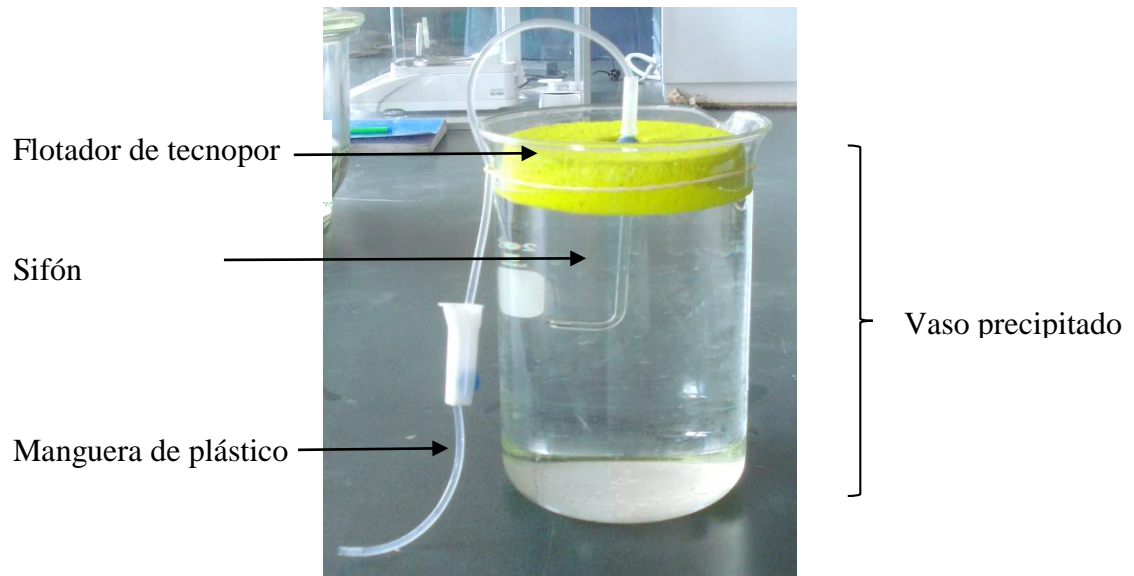
La mezcla lenta se utilizó para la formación de los flóculos. Se trabajó a una velocidad de agitación de 60 rpm por quince minutos.

- **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.

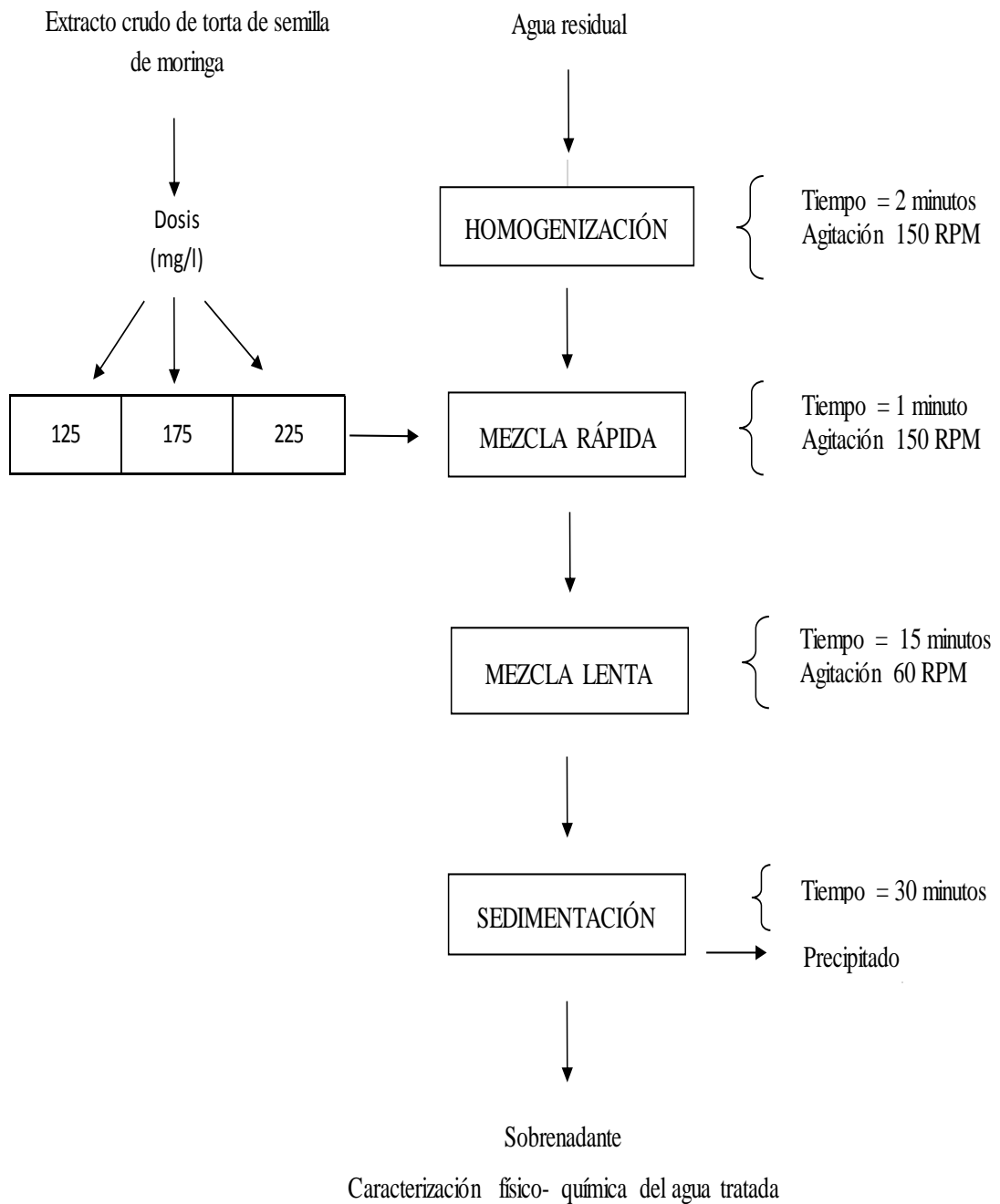
- **Sobrenadante**

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.

**FUENTE:** Elaboración propia.



**Figura 6:** Flujo de operaciones para la remoción de la turbidez del agua residual.

**FUENTE:** Elaboración propia.



#### **e. CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL**

Se utilizó la solución patrón que generó la máxima remoción de la turbidez del agua residual. En el agua tratada se valuó las características físico- químicas del agua residual de la elaboración de néctar de maracuyá: pH, turbidez, color, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO).

#### **3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Para el análisis estadístico se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), los resultados fueron evaluados utilizando el software R, 2016.

En el primer diseño experimental se analizó el efecto del extracto crudo de la torta de moringa en la remoción de la turbidez del agua residual de néctar de maracuyá; utilizándose un arreglo factorial 3x3x3 en DCA (Diseño Completamente al Azar), teniendo como factores: Concentración, tiempo de agitación de extracción del extracto y dosis del extracto crudo de la torta de moringa para el tratamiento del agua residual, siendo la variable respuesta la remoción de la turbidez. Con este análisis se obtuvieron veintisiete tratamientos, los que fueron trabajados por triplicado.

Como se puede observar en la Tabla 16. Los primeros nueve tratamientos son los diferentes extractos crudos de moringa preparados a una concentración de 5 000 mg/L de torta de moringa en un litro de solución salina, al cual se le aplicó diferentes tiempos de agitación de 10, 35 y 60 minutos respectivamente. Se tomó de cada extracto crudo de moringa obtenidos a diferentes tiempos de agitación dosis de 125, 175 y 225 mg/L respectivamente, los que se aplicaron a un litro del agua residual. Posteriormente los tratamientos (T<sub>10</sub> a T<sub>18</sub>) también son diferentes extractos crudos de moringa utilizaron para su elaboración 12 500 mg/L de torta de moringa en un litro de solución salina, al cual se le aplicó diferentes tiempos de agitación de 10, 35 y 60 minutos respectivamente. Se tomó de cada extracto crudo de moringa obtenidos a diferentes tiempos de agitación dosis de 125, 175 y 225 mg/L respectivamente, los que se aplicaron a un litro del agua residual. Finalmente los tratamientos (T<sub>19</sub> a T<sub>27</sub>) representan diferentes extractos crudos de torta de moringa, fueron elaborados con 20 000 mg/L de torta de moringa en un litro de solución salina, al cual se le aplicó diferentes tiempos de agitación de 10, 35 y 60

minutos respectivamente. Se tomó de cada extracto crudo de moringa obtenidos a diferentes tiempos de agitación dosis de 125, 175 y 225 mg/L respectivamente, estas dosis se aplicaron a un litro del agua residual.

**Tabla 16: Obtención del extracto crudo de semilla de moringa y la dosis utilizada en la remoción de la turbidez del agua residual**

<b>Diseño Experimental</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Tiempo de agitación de la extracción (minutos)</b>	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Análisis realizados a los diversos tratamientos</b>
Primer diseño experimental	T <sub>1</sub>	5 000	10	125	Turbidez
	T <sub>2</sub>			175	
	T <sub>3</sub>			225	
	T <sub>4</sub>		35	125	
	T <sub>5</sub>			175	
	T <sub>6</sub>			225	
	T <sub>7</sub>		60	125	
	T <sub>8</sub>			175	
	T <sub>9</sub>			225	
	T <sub>10</sub>	12 500	10	125	
	T <sub>11</sub>			175	
	T <sub>12</sub>			225	
	T <sub>13</sub>		35	125	
	T <sub>14</sub>			175	
	T <sub>15</sub>			225	
	T <sub>16</sub>		60	125	
	T <sub>17</sub>			175	
	T <sub>18</sub>			225	
	T <sub>19</sub>	20 000	10	125	
	T <sub>20</sub>			175	
	T <sub>21</sub>			225	
	T <sub>22</sub>		35	125	
	T <sub>23</sub>			175	
	T <sub>24</sub>			225	
	T <sub>25</sub>		60	125	
	T <sub>26</sub>			175	
	T <sub>27</sub>			225	

**FUENTE:** Elaboración propia.

En el segundo diseño experimental se utilizó la solución patrón que generó la máxima remoción de turbidez del agua residual. Se utilizó un arreglo factorial 3x3 en DCA (Diseño Completamente al Azar). Siendo los factores: tiempo de agitación de extracción del extracto crudo y dosis del extracto crudo de torta de moringa para el tratamiento del agua residual, siendo la variable respuesta la remoción de la turbidez. Las repeticiones fueron tres por cada tratamiento.

En el agua tratada se evaluaron los parámetros físico-químicos: pH, turbidez, color residual, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (SDT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). Como se puede observar en la Tabla 17.

**Tabla 17: La mejor concentración y los parámetros físico químicos evaluados en los diversos tratamientos**

Diseño Experimental	Tratamientos	Concentración (mg/L)	Tiempo de agitación de la extracción (minutos)	Dosis (mg/L)	Análisis realizados a los diversos tratamientos	
Segundo diseño experimental	T <sub>1</sub>	20 000	10	125	pH	
	T <sub>2</sub>			175		
	T <sub>3</sub>			225		
	T <sub>4</sub>		35	60	125	Color residual
	T <sub>5</sub>				175	Conductividad
	T <sub>6</sub>				225	SDT
	T <sub>7</sub>		60	60	125	DBO
	T <sub>8</sub>				175	DQO
	T <sub>9</sub>				225	

**FUENTE:** Elaboración propia.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE LA TORTA DE SEMILLA DE MORINGA

Como se puede observar en la Tabla 18, el promedio de humedad de torta de moringa fue de 7,61 por ciento (b.h), similar a lo reportado por Aguilar *et al.* (2009), citados por García *et al.* (2013), de 7,70 por ciento (b.h). El valor de fibra y el contenido de carbohidratos encontrados en la investigación fueron de 3,15 por ciento (b.h) y 21,02 por ciento (b.h) respectivamente. Las diferencias observadas podrían deberse a las condiciones climáticas, tipo de suelo y manejo agronómico empleado.

Por otro lado el contenido de proteína y cenizas fue de 45,86 por ciento (b.h) y 4,64 por ciento (b.h), respectivamente, valores inferiores a lo reportado por Aguilar *et al.* (2009), citados por García *et al.* (2013), quienes encontraron 60,30 por ciento de proteína (b.h) y 6,05 por ciento de cenizas (b.h). Estas diferencias podrían deberse al método de extracción del aceite empleado.

El contenido de grasa de 17,72 por ciento (b.h), superior a lo reportado por Aguilar *et al.* (2009), citados por García *et al.* (2013), mencionan haber encontrado 1,03 por ciento (b.h). Esta diferencia podría deberse a las distintas maneras de extracción del aceite. Mientras que 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, telas, mallas u otros artificios adecuados (Bailey, 1984), en la investigación realizada por Aguilar *et al.* (2009), citados por García *et al.* (2013), la extracción se realizó utilizando solvente en el equipo de soxhlet.

Además 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 el grado de humedad, la composición química de la semilla, tamaño de la partícula, la cantidad de presión aplicada, el tiempo de drenaje

del aceite a la presión total, la temperatura, etc». En 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 que el proceso es lento (García *et al.* 2013).

**Tabla 18: Análisis químico proximal de la torta de semilla de moringa**

<b>Composición</b>	<b>Promedio (por ciento) (base húmeda)</b>	<b>Otros resultados (base húmeda)</b>
<b>Humedad</b>	7,61 ± 0,04	7,70 <sup>a</sup>
<b>Proteína cruda</b>	45.86 ± 0,05	60,30 <sup>a</sup>
<b>Grasa cruda</b>	17,72 ± 0,03	1,03 <sup>a</sup>
<b>Fibra cruda</b>	3,15 ± 0,01	-
<b>Cenizas Totales</b>	4,64 ± 0,01	6,05 <sup>a</sup>
<b>Carbohidratos</b>	21,02 ± 0,09	-

<sup>a</sup>Aguilar *et al.* (2009) citados por García *et al.* (2013).

## **4.2. CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO CRUDO DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA**

### **4.2.1. EFECTO SOBRE LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ**

En las Tablas 19 y 20 y los Anexos 2 y 3, se demuestra que existen suficiente evidencia estadística para afirmar que los efectos de concentración, tiempo, dosis y las interacciones de concentración y tiempo; concentración y dosis; concentración, tiempo y dosis, a un nivel de significancia del 5%, generaron diferencias altamente significativos.

En la Tablas 19, se observa: a una concentración de 5 000 mg/L, utilizando diferentes dosis (125, 175 y 225 mg/L respectivamente), los promedios del porcentaje de remoción de la turbidez del agua residual resultaron negativos, porque la concentración del extracto crudo no es la adecuada; asimismo utilizando la concentración de 12 500 mg/L, con las diferentes dosis, el porcentaje de remoción es levemente positiva; pero con la concentración de 20 000 mg/L, con diferentes dosis y los tiempos de agitación (10, 35 y 60 minutos respectivamente) se obtienen mejores resultados de remoción de la turbidez cuyo promedio es de 38,20 por ciento, 60,78 por ciento y 62,09 por ciento respectivamente. Andía (2000) menciona que «poca cantidad de coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada; así mismo una alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, lo cual conduce a la formación de gran cantidad de microflóculo con tamaños muy pequeños, por lo tanto la turbiedad residual es elevada». Lo mencionado por (Andia, 2000) se corrobora con los resultados obtenidos en el experimento.

**Tabla 19: Resultados promedios de la concentración de la torta y dosis del extracto en la remoción de la turbidez del agua residual.**

Concentración (mg/L)	Remoción de la turbidez (%)		
	Dosis (mg/L)		
	125	175	225
5 000	-14,15 ± 6,39	-16,43 ± 4,66	-31,35 ± 5,19
12 500	2,77 ± 5,02	9,95 ± 5,59	20,27 ± 9,43
20 000	64,87 ± 26,55	50,13 ± 7,66	46,08 ± 1,46

**FUENTE:** Elaboración propia.

En la Tabla 20, se observa: A medida que se incrementa la concentración de torta de moringa y los tiempos de agitación de extracción, aumenta la remoción de la turbidez del agua residual. La mejor remoción de la turbidez del agua residual se obtiene a una concentración de 20 000 mg/L con tiempos de extracción de 35 y 60 minutos. Sánchez y Beltrán (2010) trabajaron con diferentes concentración de semillas molida de moringa de

1 al 10 por ciento, cuyos resultados determinaron que la concentración creciente conduce una reducción en la eficacia del extracto, es decir de acuerdo a su estudio con 1 por ciento; 2,5 por ciento y 5,0 por ciento con dosis de 5 ml/L, obtuvieron una remoción de 95 por ciento aproximadamente y con 10 por ciento de semillas de moringa molida, consiguieron una remoción de 79 por ciento aproximadamente.

Además Sánchez y Beltrán (2010), concluyeron que un mayor tiempo de agitación de extracción, se consigue una mejor eficiencia de la floculación.

**Tabla 20: Resultados promedios de la concentración de la torta y tiempo de agitación de extracción en la remoción de la turbidez del agua residual**

Concentración (mg/L)	Remoción de la turbidez (%)		
	10 minutos	35 minutos	60 minutos
5 000	-16,76 ± 11,65	-21,89 ± 7,51	-23,27 ± 8,21
12 500	4,37 ± 6,03	11,62 ± 9,22	17,01 ± 8,23
20 000	38,21 ± 7,01	62,2 ± 16,04	60,68 ± 16,55

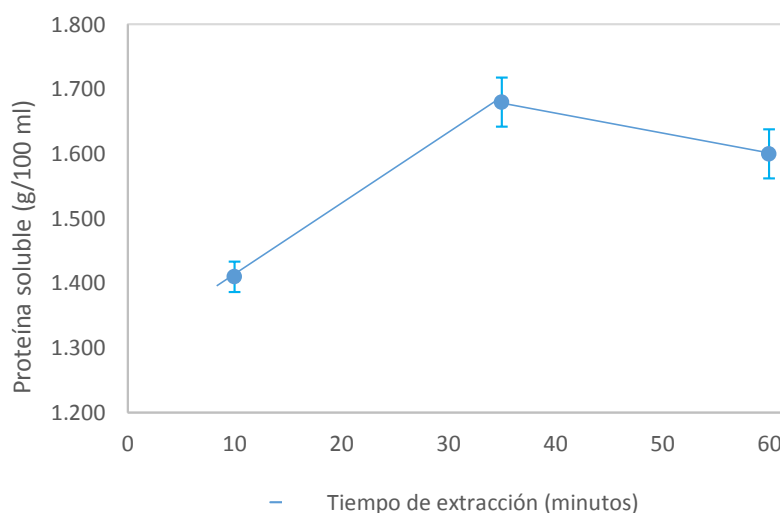
**FUENTE:** Elaboración propia.

De acuerdo a los tratamientos realizados, la mejor remoción de la turbidez del agua residual, se consiguió a una concentración de 20 000 mg/L. En consecuencia se analizaron los parámetros fisicoquímicos del agua residual tratada con esta concentración del extracto crudo.

#### **4.2.2. CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS SOLUBLES EN EL EXTRACTO**

En la Figura 7 y Anexo 4, se muestra la concentración de las proteínas solubles de la solución patrón de 20 000 mg/L, obtenidos a diferentes tiempos de extracción de: 10, 35 y 60 minutos respectivamente. La concentración de proteína soluble encontrada en mayor cantidad, fue en los extractos de 35 y 60 minutos (1,68 y 1,60 g/100 ml respectivamente). Estos extractos serían los que estarían participando en la remoción de la turbidez del agua residual. Ndabigengesere *et al.* (1995) mencionan que «los componentes activos del extracto de moringa, responsables de la remoción de la turbidez serían las proteínas catiónicas».

Baptista *et al.* (2014) prepararon diferentes extractos, entre ellas los extractos de moringa en agua destilada y en solución salina (NaCl 1 M), utilizando un gramo de semilla de moringa molida por 100 ml de disolvente, agitado por 30 minutos y filtrado. La cantidad de proteínas solubles, mediante el método de Lowry *et al.* (1951), fue de 1 222,73 mg/L y 5 308,00 mg/L respectivamente. Así mismo Madrona *et al.* (2012) trabajaron con un gramo de semilla de moringa molida por 100 ml de disolventes, agitado por 30 minutos y filtrado. Los disolventes trabajados fueron agua destilada, solución salina de 0.01 M, 0.1M y 1M (NaCl). La cantidad de proteína fueron de 1 832,60 mg/L, 1290.86 mg/L, 4 388,01 mg/L y 4 499,19 mg/L respectivamente. Señalando que la mayor cantidad de proteína se consigue aumentado la concentración de NaCl. Por otro lado, Okuda *et al.* (1999) y Sarpong y Richardson (2010) informaron, que «los extractos de moringa en solución salina son más eficientes en el proceso de coagulación / floculación, respecto a los extractos acuosos».



**Figura 7:** Las proteínas solubles de los extractos crudos de la torta de semilla de moringa obtenidos a diferentes tiempos de agitación

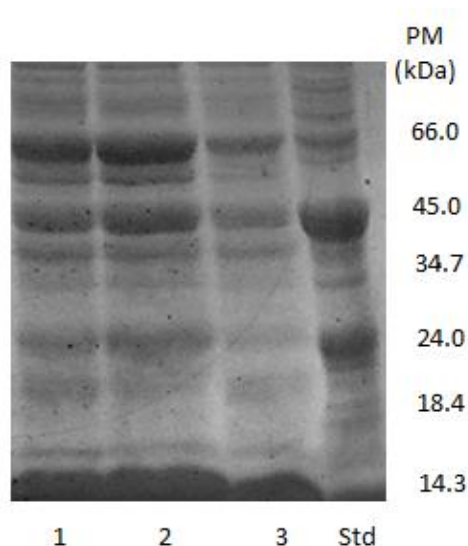
**FUENTE:** Elaboración propia.



### 4.2.3. PESO MOLECULAR DE LAS PROTEÍNAS SOLUBLES EN EL EXTRACTO

El peso molecular de la proteína soluble presente en la solución patrón de 20 000 mg/L, obtenidos a diferentes tiempos de agitación de la extracción de 10, 35 y 60 minutos respectivamente, se determinó mediante electroforesis en geles de poliacrilamida con SDS (SDS-PAGE).

En la Figura 8 se observan fracciones electroforéticas de proteína en un soporte de geles de poliacrilamida de 12 por ciento T. Westermeier (2001) indica que el tamaño del poro puede ser ajustado, con geles de concentración de 12 por ciento 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.

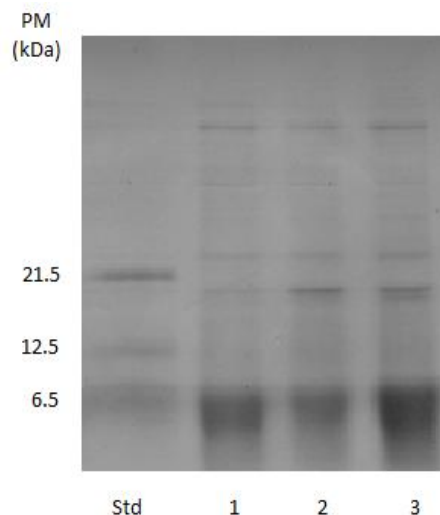


**Figura 8:** Fraccionamiento electroforético de proteínas al 12 por ciento T: 1= Extracto de moringa extraído a 10 minutos; 2= Extracto de moringa extraído a 35 minutos; 3= Extracto de moringa extraído a 60 minutos y Std= Marcador de peso molecular.

En la Figura 9 se observan la corrida electroforética del extracto crudo de moringa, con una concentración de 15 por ciento 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 todas las muestras extraídas a diferentes tiempos de agitación. Este resultado coincide con lo reportado Gassen *et al.* (1990) citado 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), encontraron que la proteína nativa era una dimerica 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 de 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». Mientras que Kunal (s/n) menciona que «el peso molecular determinado mediante SDS-PAGE fue de 43 kDa». Sin embargo cabe mencionar que estas mediciones se hicieron en un extracto acuoso.

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, el componente activo, sería como un compuesto orgánico de 3 KDa. No sería proteína, ni polisacárido, ni lípido, pero si un polielectrolito orgánico.» Esta afirmación no corresponde con los resultados obtenidos en este trabajo, ya que el peso molecular de los extractos crudo fue de 6,5 kDa.



**Figura 9:** Fraccionamiento electroforético de proteínas al 15 por ciento T: 1= Extracto de moringa extraído a 10 minutos; 2= Extracto de moringa extraído a 35 minutos; 3= Extracto de moringa extraído a 60 minutos y Std= Marcador de peso molecular.

### **4.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL**

#### **4.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO**

Las características físico– químicas del agua residual procedente de la elaboración de néctar de maracuyá, se muestra en la Tabla 21. La turbiedad fue de 168 NTU y el pH de 3,56. La turbiedad del agua residual, así como el valor de pH varían dependiendo de la materia prima, el volumen a procesar y la tecnología que se utilizan. Según Alcarraz e 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 DBO<sub>5</sub>.

El color del agua residual fue medido con un kit de color, fue de 69 UC; la conductividad fue 0,81 mS/cm y los sólidos disueltos totales se midió indirectamente con el conductímetro, reportó 3,27 mg/L.

Respecto a los indicadores de la materia orgánica se registraron valores de 3 828,36 mg O<sub>2</sub>/L y 6 500,00 mg O<sub>2</sub>/L para la DBO<sub>5</sub> y DQO respectivamente. Los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO de las aguas residuales en distintas industrias de alimentos son variables. Según la Comisión Europea citado por Pascual (s/n): zumo de manzana (2 500 mg O<sub>2</sub>/L y 5 000 mg O<sub>2</sub>/L); conservas, fruta y zumos (3 000 mg O<sub>2</sub>/L y 5 000 mg O<sub>2</sub>/L), procesadora de patatas (3 000 mg O<sub>2</sub>/L y 10 000 mg O<sub>2</sub>/L), etc. Además Alcarraz e Inche (2010), muestran en la Tabla 21, los efluentes de procesadora de fruta de mango, en la cual se observa que a medida que aumenta la turbidez aumenta la materia orgánica.

**Tabla 21: Características físico- químicos del agua residual de néctar de maracuyá**

<b>Parámetro</b>	<b>Valores promedio</b>
Turbiedad (NTU)	168,00 ± 2,00
pH	3,56 ± 0,01
Color (UC)	69,00 ± 1,00
Conductividad (mS/cm)	0,81 ± 0,01
Sólidos disueltos totales (mg/L)	326,70 ± 0,01
Demanda bioquímica de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)	3 828,36 ± 2,96
Demanda química de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)	6 500,00 ± 10,07

NTU: Unidad nefelométricas de turbidez.

UC: Unidad de color.

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### **4.3.2. EFECTO DEL EXTRACTO CRUDO DE LA TORTA DE SEMILLA DE MORINGA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE NÉCTAR DE MARACUYÁ**

Las características físico –químicos del agua residual de néctar de maracuyá con tratamiento utilizando el extracto crudo de torta de la semilla de moringa, obtenidos a los treinta y cinco minutos de extracción, los resultados se muestra en la Tabla 22.

**Tabla 22: Características físico- químicos del agua residual con tratamiento**

Parámetros	Efecto del extracto crudo de la torta de semilla de moringa en el agua residual		
	Dosis (mg/L)		
	125 mg/L	175 mg/L	225 mg/L
Turbiedad (NTU)	29,03 ± 1,33	72,10 ± 1,11	89,40 ± 0,87
pH	3,56 ± 0,00	3,57 ± 0,00	3,59 ± 0,00
Color (UC)	18,33 ± 0,58	29,33 ± 1,16	36,67 ± 1,16
Conductividad (mS/cm)	1,29 ± 0,01	1,47 ± 0,01	1,63 ± 0,01
Sólidos disueltos totales (mg/L)	511,33 ± 1,16	589,00 ± 3,46	639,33 ± 9,24
Demanda bioquímica de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)	3 843,15 ± 9,26	3 863,74 ± 12,79	3 902,54 ± 19,04
Demanda química de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)	6 545,44 ± 21,47	6 557,99 ± 30,47	7 155,15 ± 29,85

**FUENTE:** Elaboración propia.

**a. EFECTO SOBRE EL pH RESIDUAL**

Como se observa en la Tabla 23, el pH residual no sufre modificaciones significativas. El valor de pH se mantiene en el rango de 3,56 a 3,59. Concluyendo que el extracto moringa no influye significativamente en el pH inicial del agua residual, lo que coincide con los resultados de Molano (2011) y Ndabigengesere y Narasiah (1998) que empleando la preparación de la semilla de moringa como coagulante natural, confirman que las semillas en el tratamiento de aguas no produce 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.

**Tabla 23: Resultados del pH residual**

Tiempo de Agitación (minutos)	Dosis (mg/L)		
	125	175	225
10	3,56	3,57	3,59
35	3,56	3,57	3,59
60	3,56	3,57	3,59

**FUENTE:** Elaboración propia.

**b. EFECTO SOBRE LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ (NTU)**

En la Figura 10 y el Anexo 5, el extracto obtenido a los 10 minutos de agitación, en las tres dosis utilizadas (125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L), permiten obtener, en promedio, valores de turbidez residual de 118,47; 100,10 y 92,87 NTU respectivamente, y se demuestra que al menos uno de ellos es diferente de los demás (Anexo 6). La prueba de diferencia límite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5 \%$  demuestra que los tres promedios son diferentes estadísticamente (Anexo 7). Por otro lado, el análisis estadístico de los datos de la turbidez residual, tanto para el extracto obtenido con 35 min y 60 min de agitación, para las tres dosis utilizadas, demuestran que los promedios de la turbidez residual, en cada caso, son diferentes estadísticamente ( $\alpha = 5 \%$ ). La magnitud de la remoción de la turbidez que se muestra en la Anexo 8, demuestra que las dosis de 125

mg/L utilizando el extracto obtenido con bajo tiempo de agitación (10 min) logra remover solo el 29,48 por ciento de la turbidez, mientras que dosis de 175 mg/L y 225 mg/L logran remover 40,42 por ciento y 44,72 por ciento respectivamente. Con las tres dosis (125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L) de los extractos obtenidos con 35 y 60 minutos de agitación, la remoción de turbidez no sigue el mismo patrón que el del extracto de 10 minutos, observándose que con la dosis de 125 mg/L se obtiene una remoción 82,72 por ciento y 82,40 por ciento respectivamente y con las dosis de 175 mg/L y 225 mg/L una remoción de 57,08 por ciento , 52,90 por ciento y 46,79 por ciento, 46,75 por ciento respectivamente. La remoción de la turbidez, según las dosis utilizadas, resultan diferentes cuando el tiempo de agitación es mayor. Así, en los tratamientos utilizando extractos con 35 y 60 minutos son inversamente proporcionales a la remoción de la turbidez. Esto podría deberse a que, un tiempo de agitación pequeño (10 min) extrae una baja proporción de proteína activa, lo que obligaría a una mayor dosis para obtener mayor remoción de turbidez. En el caso de los extractos de 35 y 60 minutos de agitación, probablemente, junto con la proteína activa, se extraen también 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.

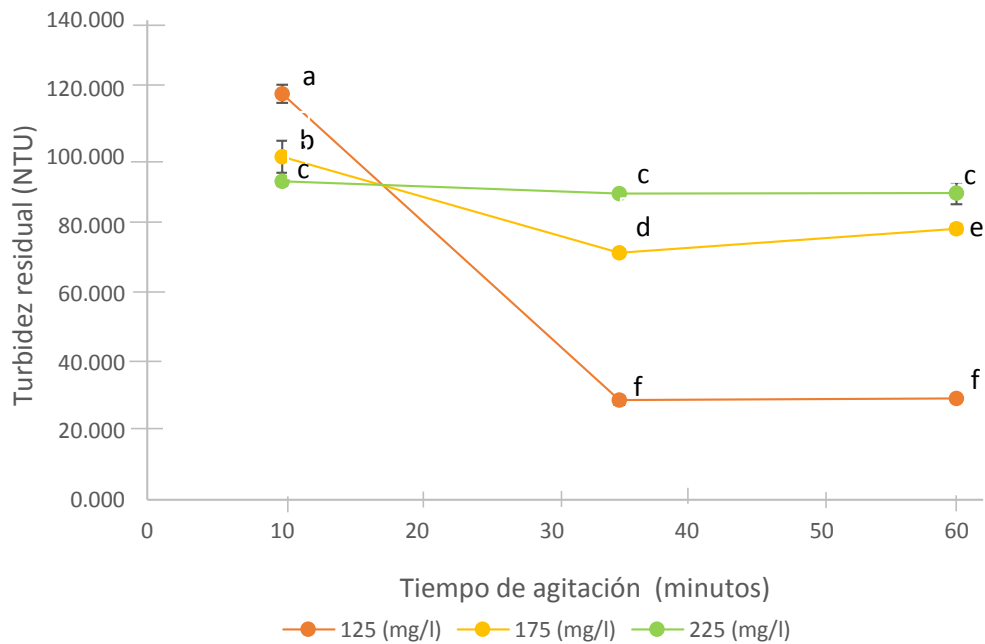
La turbiedad del agua residual de la elaboración de néctar de maracuyá podría atribuirse principalmente a la presencia de la pectina, es un coloide hidrofílico constituido por cadenas de ácido D- galacturónicos unidos por enlaces alfa (1-4) con cadenas laterales de L- arabinosa y D-galactosa. (Beltran *et al.* 2011). Además Caxi (2013) menciona que «el néctar de maracuyá es fuente de proteínas, carbohidratos, minerales, grasas, vitamina B2 (Rivoflavina), Vitamina C».

En el trabajo de Nkurunziza *et al.* (2009) se informa de un fenómeno semejante, aunque menos pronunciado. Trabajando con aguas turbias del río de Ruanda, observaron que en las muestras de turbidez intermedia (150 – 250 NTU), una dosis de 125 mg/L producía una remoción de la turbidez de 98,4 a 99,4 por ciento, mientras que dosis mayores (175 y 225 mg/L) removían una menor proporción la turbidez 97,8 – 99,3 por ciento y 97,9 – 99,0 por ciento respectivamente. Igual observación fue reportado por Feria *et al.* (2014) trabajando con las aguas turbias del río Sinú. En las muestras de turbidez intermedia (174 NTU) encontraron que la remoción de la turbidez fue de 91; 95; 94 y 91 por ciento aplicando dosis de 5; 7,5; 10 y 15 mg/L respectivamente. También Baptista *et al.* (2014),

utilizaron agua cruda proveniente del río Pirapó, con turbidez inicial de 99,49 NTU, reportando una remoción de 91,7 por ciento, utilizando dosis de 20 mg/L. Dosis superiores a 20 mg/L generan una leve disminución en la remoción de la turbidez.

Al respecto Andía (2000), refiriéndose a la dosis del coagulante, sostiene que si esta es muy 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».



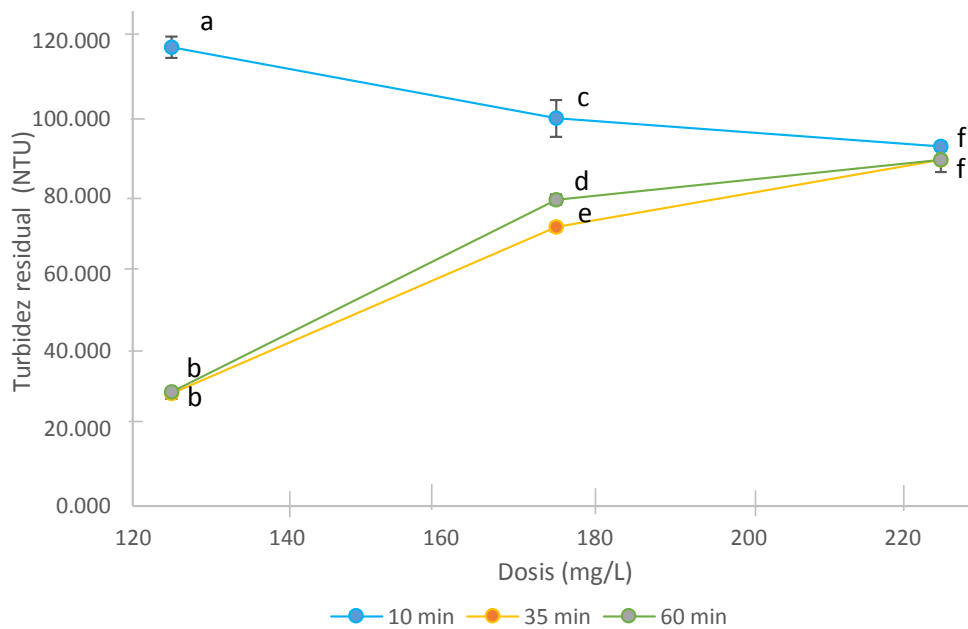


**Figura 10:** Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la remoción de la turbidez del agua residual.

**FUENTE:** Elaboración propia.

En la Figura 11 y el Anexo 8, las muestras de extracto de moringa extraídas por 10, 35 y 60 minutos, cuando se ensayaron dosis de 125 mg/L permiten obtener, en promedio, valores de turbidez residual de 118,47; 29,03 y 29,57 NTU respectivamente, entre los que, al menos uno de ellos es diferentes de los demás (Anexo 6). La prueba de diferencia limite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5\%$  (Anexo 9), nos proporciona evidencias que los extractos de 10 minutos y 35 minutos, así como los de 10 y 60 minutos, son diferentes en forma significativa, mientras los extractos de 35 y 60 minutos permiten la remoción de la turbidez de forma estadísticamente igual. Para los ensayos, utilizando dosis de 175 mg/L se demuestra que la remoción de la turbidez residual, con los extractos de 10, 35 y 60 minutos de extracción, fueron de 100,10; 72,10 y 79,13 NTU, respectivamente, evidenciándose entre ellas diferencias altamente significativas. Cuando los ensayos se llevaron a cabo utilizando una dosis 225 mg/L, la remoción de la turbiedad residual de 92,87 NTU (con extracto de 10 minutos), 89,40 NTU (con extracto de 35 minutos) y 89,47 NTU (con extracto de 60 minutos) fueron estadísticamente iguales en forma altamente significativa. Estas observaciones estarían demostrando que los tiempos cortos de extracción, serían insuficientes para la obtención de una concentración

importante de la proteína activa, la que se vería incrementada cuando se utiliza tiempos más prolongados, que se manifestaría en una mayor remoción de turbidez. Observaciones similares fueron reportados por Sánchez y Beltrán (2010) quienes encontraron que los extractos de 10 minutos, remueven menor cantidad de turbidez que los de 30 y 60 minutos. En forma similar a los resultados obtenidos en la presente investigación, concluyendo también que los tiempos elevados de extracción (35 y 60 minutos) no redundan en una mayor remoción de turbidez, lo que significaría que la extracción por tiempos prolongados no produce una mayor extracción de la proteína activa, concluyéndose que el tiempo adecuado de extracción sería de 35 minutos.



**Figura 11:** Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre la remoción de la turbidez del agua residual.

**FUENTE:** Elaboración propia.

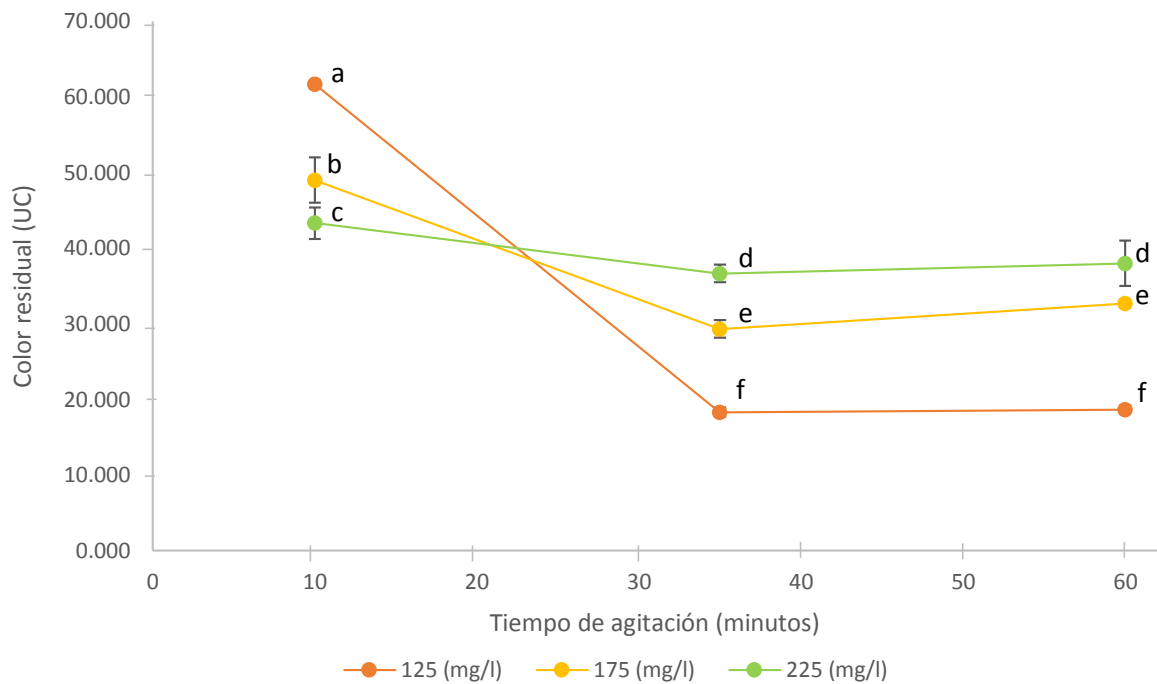
### c. EFECTO SOBRE EL COLOR RESIDUAL (UC)

En la Figura 12 y el Anexo 10, las tres dosis utilizadas (125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L) del extracto obtenido a los 10 minutos de agitación, permiten obtener, en promedio, valores de color residual de 61,67; 49,00 y 43,33 UC respectivamente, y se demuestra que al menos uno de ellos es diferente de los demás (Anexo 11). La prueba de diferencia límite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5\%$  demuestra que los tres promedios son diferentes estadísticamente (Anexo 12). Por otro lado, el análisis estadístico de los datos del color residual, tanto para el extracto obtenido con 35 min y 60 min de agitación, para las tres dosis utilizadas, demuestran que los promedios del color residual, en cada caso, son diferentes estadísticamente ( $\alpha = 5\%$ ) (Anexo 12). La remoción del color que se muestra en la Anexo 13, demuestra que las dosis de 125 mg/L utilizando el extracto obtenido en un tiempo de agitación (10 minutos) logra remover el 10,63 por ciento, mientras que dosis de 175 mg/L y 225 mg/L logran remover 28,99 por ciento y 37,20 por ciento respectivamente. Con las dosis (125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L) de los extractos obtenidos con 35 y 60 minutos de agitación, la remoción de color no sigue el mismo patrón que el extracto obtenido a los 10 minutos, observándose que con el extracto de 35 minutos, con la dosis de 125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L, se obtiene una remoción de color de 73,43; 57,49 y 46,86 por ciento respectivamente, y con el extracto obtenido a los 60 minutos, con la dosis de 125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L se consigue la remoción de color de 72,95; 52,66 y 44,93 por ciento respectivamente. La remoción del color, con las dosis utilizadas, resultan diferentes cuando el tiempo de agitación es mayor. Además se observa, utilizando extractos con 35 y 60 minutos son inversamente proporcionales a la remoción del color. En un tiempo de agitación pequeño (10 min) extrae una baja proporción de proteína activa, mientras tiempos de extracción superior a los 10 min, extrae más cantidad de proteína activa, quienes son responsables de la remoción. Así mismo, la aplicación de mayores dosis, incrementan el color residual, por ende disminuye la remoción del color. La remoción de la turbidez es directamente proporcional a la remoción del color.

El color del agua residual procedente de la elaboración del néctar de maracuyá fue un color amarillo (69 UC). Este color podría deberse a la presencia de los carotenoides (beta-criptozantina) (Burgos y Calderón. 2009). Además Mercadante *et al.* (1998) citado por

Zeraik *et al.* (2010) así mismo mencionan que «el color puede atribuirse a los carotenoides, ellos identificaron trece carotenoides:  $\zeta$ -caroteno (carotenoide principal), fitoeno, fitoflueno, neurosporeno,  $\beta$ -caroteno, licopeno, pro-licopeno, monoepoxi- $\beta$ -caroteno,  $\beta$ -criptoxantina,  $\beta$ -citraurina, anteraxantina, violaxanthin y neoxantina».

Nkurunziza *et al.* (2009) quienes trabajaron con aguas turbias del río de Ruanda, observaron que en las muestras de turbidez intermedia (150 – 250 NTU), una dosis de 125 mg/L producía una remoción de color de 96,0 – 97,4 por ciento, mientras que dosis mayores (175 y 225 mg/L) removían una menor proporción de color 94,0 – 97,2 por ciento y 94,1 – 96,8 por ciento respectivamente. Lo que se 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 por ciento. Así mismo, Baptista *et al.* (2014), afirmó 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 por ciento de color. La diferencia, entre el 73,43 por ciento 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.

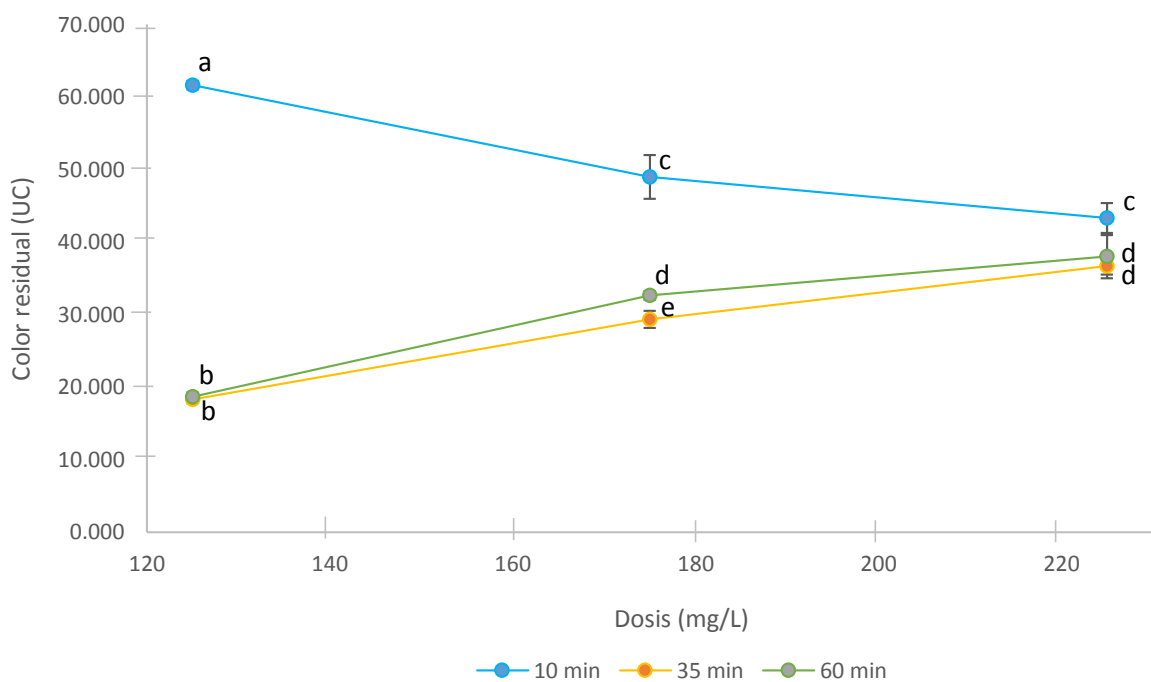


**Figura 12:** Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la remoción del color del agua residual.

**FUENTE:** Elaboración propia.

En la Figura 13 y el Anexo 13, las muestras de extracto de moringa extraídas por 10, 35 y 60 minutos, cuando se agregó una dosis de 125 mg/L permiten obtener, en promedio, valores de color residual de 61,67; 18,33 y 18,67 UC respectivamente, al menos uno de ellos es diferentes de los demás (Anexo 11). La prueba de diferencia limite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5\%$  (Anexo 14), existe diferencias significativas en los extractos de 10 minutos y 35 minutos, también en los de 10 y 60 minutos, mientras los extractos de 35 y 60 minutos permiten la remoción de color residual de forma estadísticamente similar. Luego, cuando se utilizaron dosis de 175 mg/L se demuestra que la remoción del color residual, con los extractos de 10, 35 y 60 minutos de extracción, fueron de 49,00; 29,33 y 32,67 UC, respectivamente, evidenciándose entre ellas, que existe diferencias significativas. Finalmente cuando se utilizó dosis de 225 mg/L, con los diferentes extractos obtenidos (10, 35 y 60 min), la remoción del color residual fueron 43,33; 36,67 y 38,00 UC respectivamente, demostrando para un nivel de  $\alpha = 5\%$ , que existe diferencias significativas en los extractos de 10 minutos y 35 minutos, también en los de 10 y 60 minutos, sin embargo con los extractos de 35 y 60 minutos se obtuvo una

remoción de color residual de forma que no fueron observadas diferencias significativas. Estos resultados estarían demostrando que los tiempos pequeños de extracción, serían insuficientes para la obtención de una concentración de la proteína activa (responsables de la remoción de la turbidez y por ende del color). En los resultados obtenidos en la presente investigación, los tiempos de extracción (35 y 60 minutos), no generan una mayor remoción de color, lo que significaría que la extracción por tiempos prolongados no produce una mayor extracción de la proteína activa, concluyéndose que el tiempo adecuado de extracción sería de 35 minutos. Además se podría concluir que la remoción de color presenta el mismo comportamiento que la remoción de la turbidez.



**Figura 13:** Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre la remoción del color del agua residual.

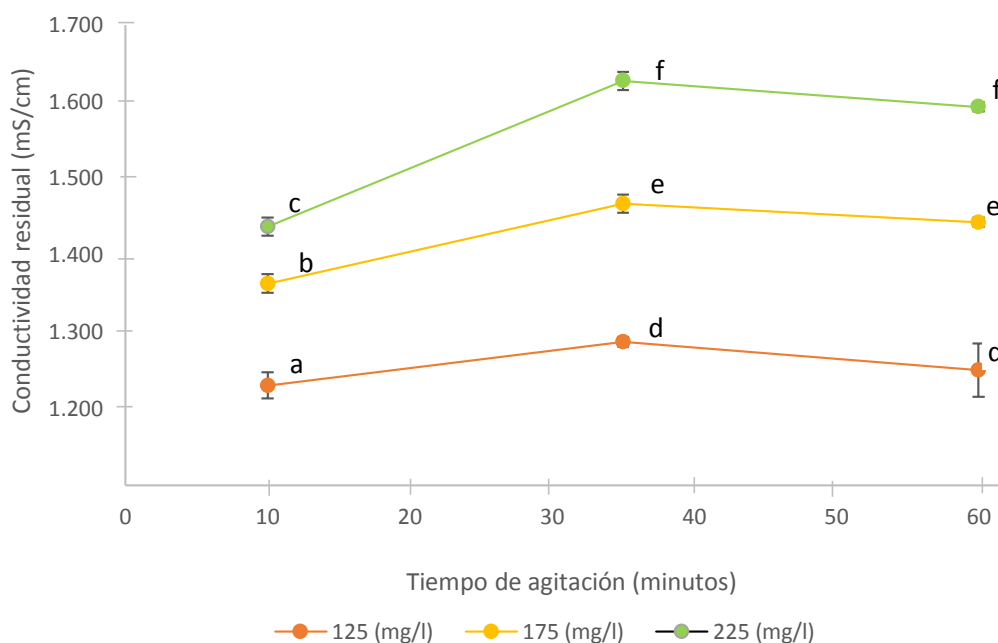
**FUENTE:** Elaboración propia.

#### **d. EFECTO SOBRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA RESIDUAL (mS/cm)**

En la Figura 14 y el Anexo 15, el extracto obtenido a los 10 minutos de agitación, en las tres dosis utilizadas (125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L), permiten obtener, en promedio, valores de conductividad residual de 1,23; 1,36 y 1,44 mS/cm respectivamente, y se demuestra que al menos uno de ellos es diferente de los demás (Anexo 16). La prueba de diferencia límite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5 \%$  demuestra que los tres promedios son diferentes estadísticamente (Anexo 17). Por otro lado, el análisis estadístico de los datos de la conductividad residual, tanto para el extracto obtenido con 35 min y 60 min de agitación, para las tres dosis utilizadas, demuestran que los promedios de la conductividad residual, son diferentes estadísticamente ( $\alpha = 5 \%$ ) (Anexo 17). Como se observa en el Anexo 18, el incremento de la conductividad residual, demuestra que las dosis de 125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L, utilizando el extracto obtenido a los 10 minutos fueron 1,23; 1,36 y 1,44 mS/cm respectivamente. Mientras con el extracto de 35 minutos de agitación de 1,29; 1,47 y 1,63 mS/cm respectivamente y con los extractos obtenidos a los 60 minutos fueron 1,25; 1,44 y 1,59 mS/cm respectivamente. 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».

Investigaciones realizadas por 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) indica 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 río Samaria, la conductividad fue de 0,34 mS/cm, al utilizar el extracto de moringa en solución salina 1M, para remover la turbidez, observaron el incremento de la conductividad hasta 0,47 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 optima utilizada para la remoción de la turbidez.



**Figura 14:** Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la conductividad residual del agua residual.

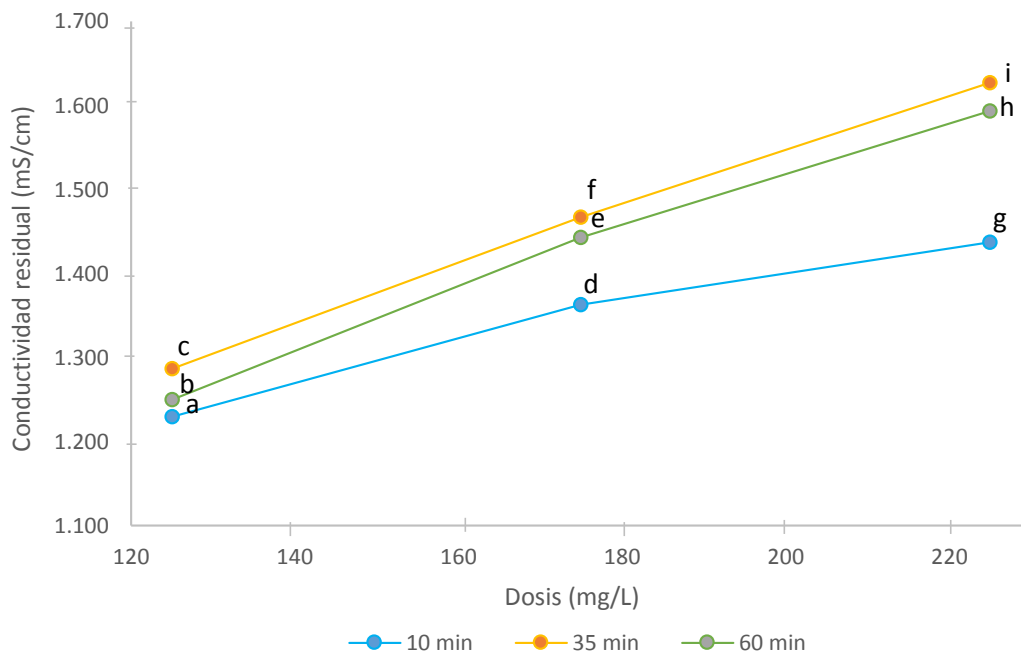
**FUENTE:** Elaboración propia.

En la Figura 15 y el Anexo 18, las muestras de extracto de moringa extraídas por 10, 35 y 60 minutos, cuando se emplearon dosis de 125 mg/L permitieron obtener, en promedio, valores de conductividad residual de 1,23; 1,29 y 1,25 mS/cm, respectivamente, entre los que, al menos, uno de ellos es diferentes de los demás (Anexo 16). El análisis estadístico para un nivel de  $\alpha = 5 \%$ , nos proporciona evidencias que los extractos obtenidos en los diferentes tiempos de agitación (10, 35 y 60 minutos), difieren estadísticamente (Anexo 19). Para los ensayos, utilizando dosis de 175 mg/L, con extractos obtenidos en los diferentes tiempos de agitación (10, 35 y 60 min), se demuestra que la conductividad residual fue de 1,36; 1,47 y 1,44 mS/cm, respectivamente, evidenciándose, entre ellas,



diferencias altamente significativas. Cuando los ensayos se llevaron a cabo utilizando una dosis 225 mg/L, la conductividad residual de 1,44 mS/cm (con extracto de 10 minutos), 1,63 mS/cm (con extracto de 35 minutos) y 1,59 mS/cm (con extracto de 60 minutos) fueron estadísticamente diferentes en forma significativa ( $\alpha = 5\%$ ) (Anexo 19). Estas observaciones estarían demostrando que con tiempos bajos de extracción (10 minutos), la concentración de iones de cloruro de sodio es relativamente baja, la que se vería incrementada cuando se utiliza tiempos mayores a 10 minutos.

En la presente investigación los extractos, fueron obtenidos utilizando como disolvente solución salina NaCl 1M. Demostrando que en todos los tratamientos, el comportamiento de la conductividad residual, aumentó ligeramente con el aumento del tiempo de extracción.



**Figura 15:** Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre la conductividad residual del agua residual.

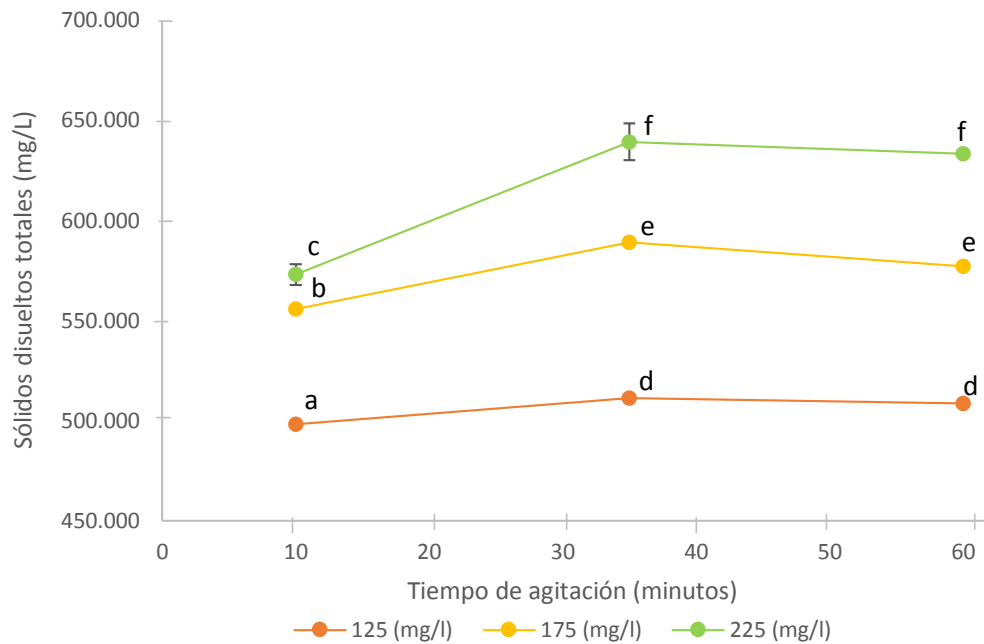
**FUENTE:** Elaboración propia.

**e. EFECTO SOBRE LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/L)**

En la Figura 16 y el Anexo 20, el extracto obtenido a los 10 minutos de agitación, en las tres dosis utilizadas (125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L), permiten obtener, en promedio, valores de sólidos disueltos totales de 498,33; 555,67 y 573,00 mg/L, respectivamente, y se demuestra que al menos uno de ellos es diferente de los demás (Anexo 21). La prueba de diferencia límite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5\%$  demuestra que los tres promedios son diferentes estadísticamente (Anexo 22). Por otro lado, el análisis estadístico de los datos de los sólidos disueltos totales, tanto para el extracto obtenido con 35 minutos y 60 minutos de agitación, para las tres dosis utilizadas, demuestran que los promedios de los sólidos disueltos totales, son diferentes estadísticamente ( $\alpha = 5\%$ ) (Anexo 22). En el Anexo 23, se demuestra que las dosis de 125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L, utilizando los extractos de 35 y 60 minutos de agitación, presentan la misma tendencia que el extracto de 10 minutos, observándose que con dosis de 125 mg/L se obtienen 511,33 mg/L (35 minutos), 508,67 mg/L (60 minutos), con dosis de 175 mg/L se obtiene 589,00 mg/L (35 minutos), 577,00 mg/L (60 minutos) y con dosis de 225 mg/L se obtiene 639,33 (35 minutos), 633,33 mg/L (60 minutos), observándose que los sólidos disueltos totales evolucionan en forma directamente proporcional con las dosis. Se puede observar también que los sólidos disueltos totales de los tratamientos, presenta la misma tendencia que el de la conductividad. A mayor dosis del extracto de moringa, mayor es la conductividad por ende mayor es SDT. Roldan (2003) menciona que «los sólidos disueltos totales (SDT) se refieren a la concentración total de minerales presentes en las aguas naturales».

Sandoval y Laines (2013) informaron que «los extractos de moringa extraídos en disolventes de agua destilada, cloruro de sodio 1M y agua de mar. Incrementaban la cantidad de sólidos disueltos totales de manera creciente, respectivamente». Lenntech (s/a) tiene la misma opinión e indica que los SDT están relacionados estrechamente con la conductividad del agua.

El incremento de SDT, podría deberse a las sustancias inorgánicas que presenta el extracto de moringa como por ejemplo: calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cloro, etc. Por lo tanto cuanto mayor es la cantidad de SDT mayor será la conductividad.

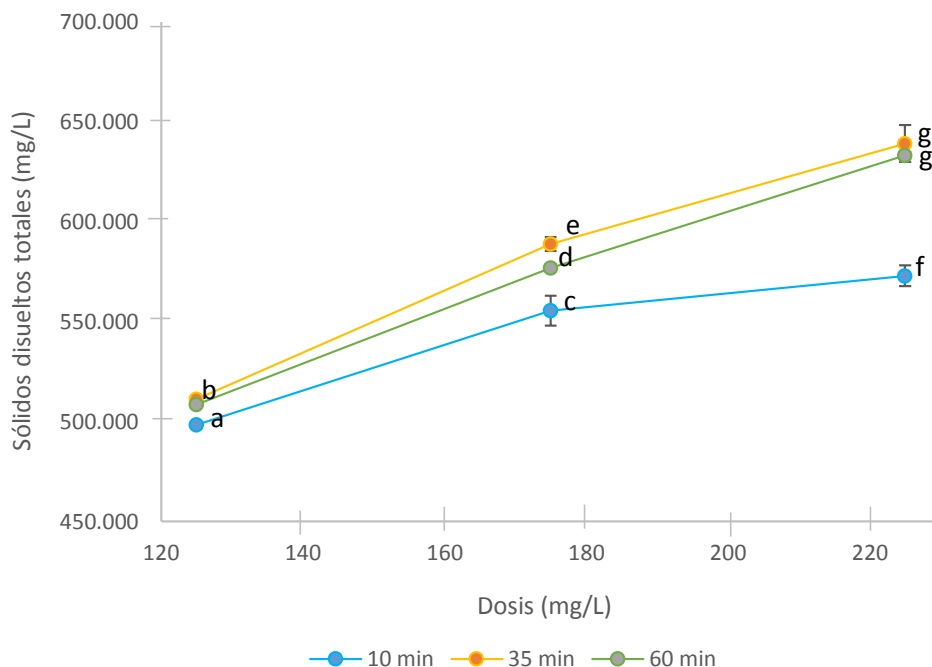


**Figura 16:** Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre los sólidos disueltos totales del agua residual.

**FUENTE:** Elaboración propia.

En la Figura 17 y el Anexo 23, las muestras de extracto de moringa extraídas por 10, 35 y 60 minutos, cuando se emplearon dosis de 125 mg/L permiten obtener, en promedio, valores de sólidos disueltos totales que fueron de 498,33; 511,33 y 508,67 mg/L respectivamente, entre los que, al menos uno de ellos, es diferentes de los demás (Anexo 21). En el Anexo 24 se puede observar que la prueba de diferencia limite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5\%$ , nos proporciona evidencias que los extractos obtenidos en los diferentes tiempos de agitación de 10 y 35 minutos, así como los de 10 y 60 minutos, son diferentes en forma significativa, mientras en los extractos de 35 y 60 minutos, los SDT son estadísticamente iguales. Para los ensayos, utilizando dosis de 175 mg/L, se demuestra que los SDT, con los extractos de 10, 35 y 60 min, fueron de 555,67; 589,00 y 577,00 mg/L respectivamente, evidenciándose entre ellas diferencias altamente significativas. Cuando los ensayos se llevaron a cabo utilizando una dosis 225 mg/L, la prueba de diferencia limite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5\%$  (Anexo 24), nos proporciona evidencias que los extractos obtenidos en los diferentes tiempos de agitación de 10 y 35 minutos, así como los de 10 y 60 minutos, son diferentes en forma significativa, mientras en los extractos de 35 y 60 minutos, los SDT son estadísticamente iguales. Estas

observaciones estarían demostrando que tiempos largos de extracción incrementan los SDT en forma directamente proporcional con las dosis.



**Figura 17:** Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre los sólidos disueltos totales del agua residual.

**FUENTE:** Elaboración propia.

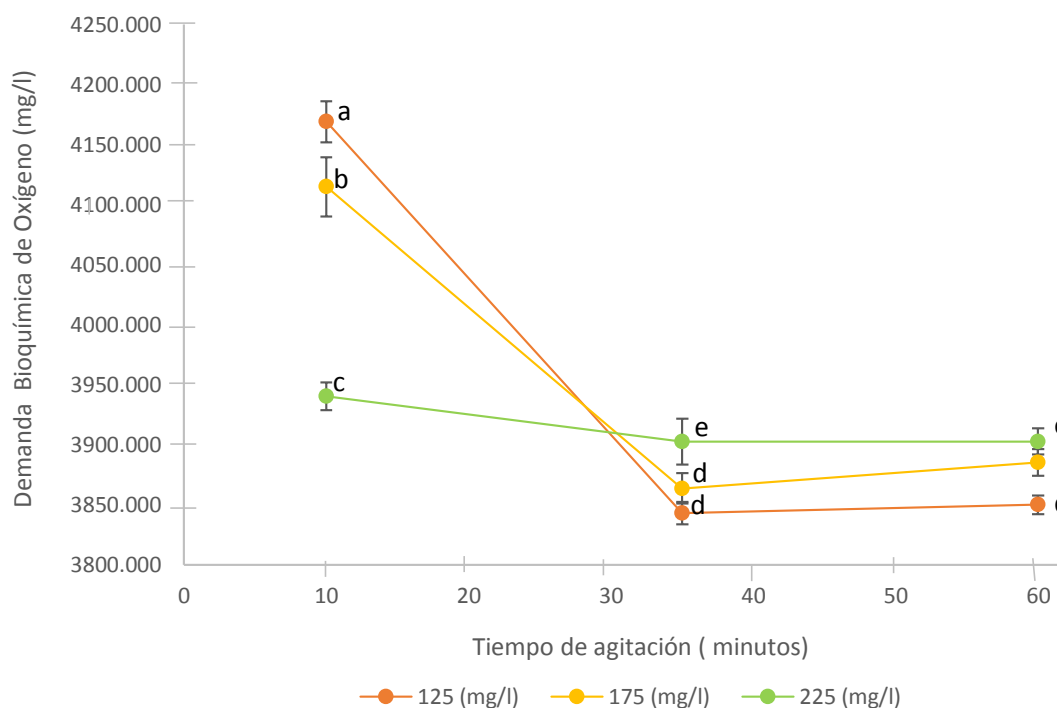
#### **f. EFECTO SOBRE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (mg O<sub>2</sub>/L)**

En la Figura 18 y el Anexo 25, el extracto obtenido a los 10 minutos de agitación, en las tres dosis utilizadas (125, 175 y 225 mg/L), permiten obtener, en promedio, valores de la DBO<sub>5</sub> de 4 168,94; 4 114,88 y 3 940,29 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente, y se demuestran que al menos uno de ellos es diferente de los demás (Anexo 26). La prueba de diferencia límite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5\%$ , se demuestran que los tres promedios son diferentes estadísticamente (Anexo 27). Por otro lado, el análisis estadístico de los datos de la DBO<sub>5</sub>, para el extracto obtenido con 35 minutos de agitación, con dosis de 125 mg/L y 175 mg/L, son estadísticamente iguales, y para las dosis (125 mg/L y 225 mg/L) y (175 mg/L y 225 mg/L), son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 5$  por ciento) (Anexo

27). Mientras que con el extracto de 60 minutos de agitación con dosis de (125 mg/L y 175 mg/L) y (125 mg/L y 225 mg/L), son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 5 \%$ ), pero con dosis 175 mg/L y 225 mg/L, son estadísticamente iguales ( $\alpha = 5 \%$ ) (Anexo 27). En el Anexo 30 se puede observar que las dosis de 125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L, utilizando el extracto obtenido a los 35 minutos, se registraron en promedios, valores de 3 843,15; 3 863,74 y 3 902,54 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente; mientras que con el extracto de 60 minutos de agitación fueron de 3 850,045; 3 885,30 y 3 902,79 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente. Se observa también que los extractos de 10 minutos, con las diferentes dosis trabajadas (125, 175 y 225 mg/L), requiere de mayores dosis para reducir la DBO<sub>5</sub>; mientras que con los extractos de 35 y 60 minutos, dosis de 125 mg/L y 175 mg/L disminuye la DBO<sub>5</sub>. Esto podría deberse que tiempos cortos de extracción (10 minutos) extrae una baja proporción de proteína activa, responsables de la remoción de la turbidez, lo que produciría valores altos de DBO<sub>5</sub>, mientras que tiempos de extracción de 35 y 60 minutos son suficientes, para conseguir una mejor remoción de turbidez, esto podría generar valores bajos de la DBO<sub>5</sub>. Además se puede observar en los tratamientos, los valores de la DBO<sub>5</sub>, son inversamente proporcional a la remoción de turbidez, es decir, mayor remoción de la turbidez, genera menor demanda bioquímica de oxígeno.

Según la Asociación Alemana de Saneamiento (1989) el rango de valores de la DBO<sub>5</sub> de una planta de procesamiento de alimentos, en todas sus líneas de producción, fluctúa entre 2 095 a 2 735 mg/L, mientras que Alcarraz e Inche (2010) informaron que trabajando con agua residual de una planta procesadora de frutas (mango), con diferentes niveles de turbidez, la variabilidad del DBO<sub>5</sub> (4 380 mg/L), del NTU (168) y del pH (5.5) podría deberse a las diferentes etapas de producción en las que la concentración de la materia orgánica es diferente, en cada caso. Para la coagulación - floculación utilizaron sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, obteniendo resultado de remoción de turbidez y materia orgánica, con el policloruro de aluminio (98,1 por ciento de remoción). Además consiguieron una reducción de la DBO de 96,58 por ciento. Los resultados obtenidos en la presente investigación, muestra que la DBO inicial del agua residual (3 828,36 mg O<sub>2</sub>/l) fue superior, lo que podría deberse al tipo de coagulante que se ha utilizado. Como lo indican Ndabigengesere y Narasiah (1998) los extractos crudos utilizados en el tratamiento de las aguas aportan concentraciones significativas de DQO, TCO y TKN. También Sandoval y Laines (2013) encontraron que los extractos de moringa extraídos con diferentes

solventes (agua destilada, NaCl y agua de mar), incrementaban la materia orgánica en el agua tratada, respecto al agua residual inicial.

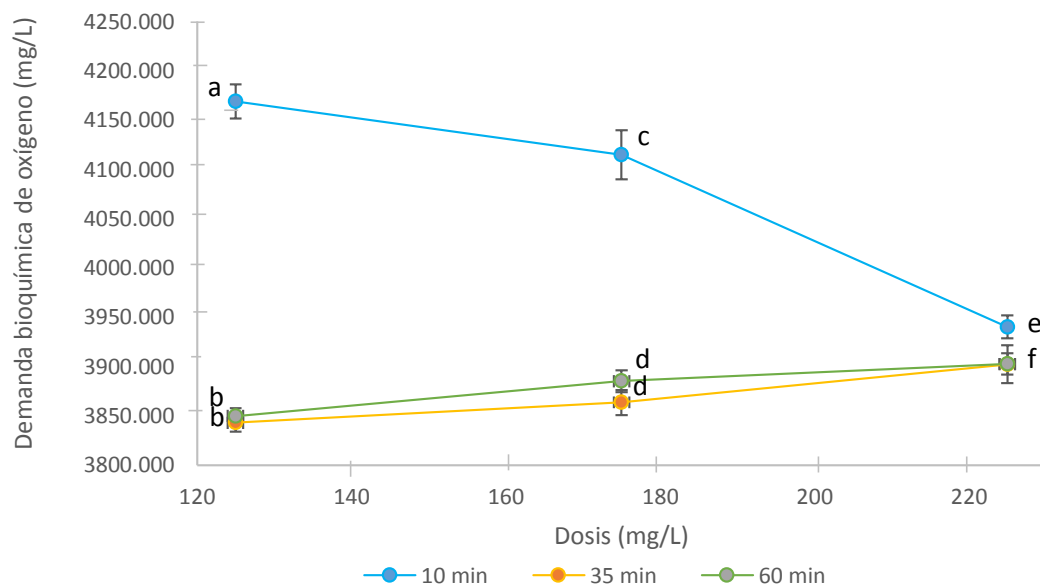


**Figura 18:** Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la remoción de la DBO<sub>5</sub> del agua residual.

**FUENTE:** Elaboración propia.

En la Figura 19 y el Anexo 28, las muestras de extracto de moringa extraídas en los diferentes tiempos de extracción (10, 35 y 60 minutos), cuando se ensayaron dosis de 125 mg/L permiten obtener, en promedio, valores de DBO<sub>5</sub> fueron de 4 168,94; 3 843,15 y 3 850,05 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente, al menos uno de ellos es diferentes de los demás (Anexo 26). En el Anexo 29 la prueba de diferencia limite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5 \%$ , indica la existencia de diferencias significativas en los extractos de 10 minutos y 35 minutos, también en los de 10 y 60 minutos, mientras que con los extractos de 35 y 60 minutos, la DBO<sub>5</sub> fueron estadísticamente iguales. Luego, en los ensayos, utilizando dosis de 175 mg/L se demuestra que la DBO<sub>5</sub>, con los extractos de 10, 35 y 60 minutos de extracción, fueron de 4 114,88; 3 863,74 y 3 885,30 mg O<sub>2</sub>/l, respectivamente. Mediante la prueba de diferencia limite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5 \%$

(Anexo 29), se demuestra la existencia de diferencias significativas en los extractos de 10 minutos y 35 minutos, al igual que en los extractos de 10 y 60 minutos, mientras que con los extractos de 35 y 60 minutos, los valores de DBO<sub>5</sub> fueron estadísticamente iguales en forma significativa respectivamente. Finalmente cuando los ensayos se llevaron a cabo utilizando una dosis 225 mg/L, con los diferentes extractos, los valores de la DBO<sub>5</sub> fueron de 3 940,29; 3 902,54 y 3 902,79 mg O<sub>2</sub>/l, respectivamente, demostrando en los resultados que existen diferencias significativas en los extractos ( $\alpha = 5 \%$ ) (Anexo 29), en los extractos de 10 minutos y 35 minutos, al igual que en los extractos de 10 y 60 minutos, mientras los extractos de 35 y 60 minutos, fueron estadísticamente iguales. Así mismo, como anteriormente se mencionó, las observaciones estarían demostrando que tiempos pequeños de extracción serían insuficientes, para la obtención de una concentración importante de proteína activa, mientras que tiempos de extracción de 35 y 60 minutos son suficientes, para la obtención de una concentración importante de proteína activa, quienes son responsables de la remoción de la turbidez, en la cual existe una relación directa con la DBO<sub>5</sub>. Concluyéndose que los valores de la DBO<sub>5</sub> depende directamente de la turbidez del agua tratada, es decir una mayor remoción de la turbidez del agua residual, el valor de la DBO será menor. Estas diferencias se debería a la mínima o suficiente cantidad de la presencia del componente activo, como se mencionó anteriormente, a mayor tiempo de extracción mejor es la remoción de la turbidez, por ende menor será el valor de la DBO<sub>5</sub>. Concluyéndose que el tiempo adecuado de extracción sería de 35 minutos.



**Figura 19:** Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre la remoción de la DBO.

**FUENTE:** Elaboración propia.

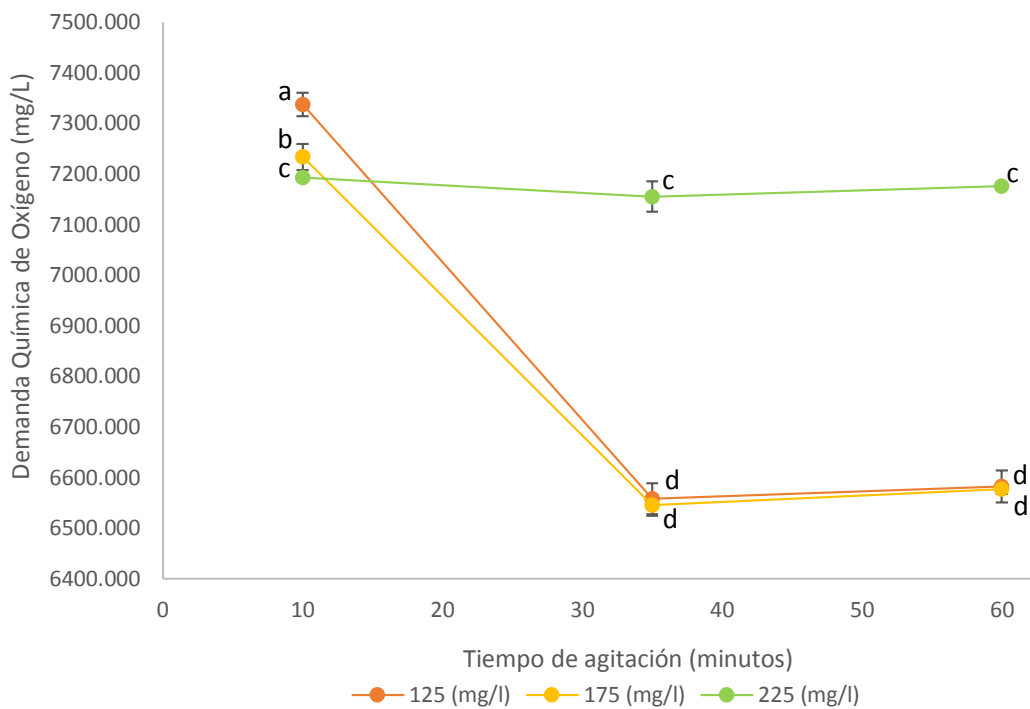
**g. EFECTO SOBRE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (mg O<sub>2</sub>/L)**

En la Figura 20 y el Anexo 30, el extracto obtenido a los 10 minutos de agitación, en las tres dosis utilizadas (125, 175 y 225 mg/L), permiten obtener, en promedio, valores de la DQO fueron de 7 337,52; 7 233,49 y 7 192,37 mg O<sub>2</sub>/l, respectivamente, se demuestran que al menos uno de ellos es diferente de los demás (Anexo 31). La prueba de diferencia límite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5 \%$  (Anexo 32), se demuestran que los tres promedios de la DQO, son diferentes estadísticamente ( $\alpha = 5 \%$ ), para el extracto obtenido con 35 minutos de agitación, con dosis de 125 y 175 mg/L, son estadísticamente iguales, y para las dosis (125 y 225 mg/L) y (175 y 225 mg/L), son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 5 \%$ ) (Anexo 32). Con el extracto de 60 minutos de agitación con dosis de 125 mg/L y 175 mg/L, son estadísticamente iguales ( $\alpha = 5 \%$ ), pero con dosis (125 y 225 mg/L) y (175 y 225 mg/L), son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 5 \%$ ) (Anexo 32). En el Anexo 33, se puede observar que las dosis de 125 mg/L, 175 mg/L y 225 mg/L, utilizando el extracto obtenido a los 35 minutos, se registraron en promedios, valores de 6 545,44; 6 557,99 y 7 155,15 mg O<sub>2</sub>/l, respectivamente; mientras que con el extracto de



60 minutos de agitación fueron de 6 577,30; 6 582,54 y 7 176,47 mg O<sub>2</sub>/l, respectivamente. Se observa también que los extractos de 10 minutos, con las diferentes dosis (125, 175 y 225 mg/L), requieren de mayores dosis para reducir la DQO; mientras que con los extractos de 35 y 60 minutos, dosis de 125 mg/L y 175 mg/L disminuye la DQO. Esto podría deberse que tiempos cortos de extracción (10 minutos) extrae una baja proporción de proteína activa, responsables de la remoción de la turbidez, lo que produciría valores altos de la DQO, mientras que tiempos de extracción de 35 y 60 minutos son suficientes, para conseguir una mejor remoción de turbidez, esta podría generar valores bajos de la DQO. Además se puede observar en los tratamientos, los valores de la DQO, son inversamente proporcionales a la remoción de turbidez, es decir, mayor remoción de la turbidez, genera valores bajos de demanda química de oxígeno.

Llaneza (2012) informa que el agua residual de zumo de manzana fue de 5 500 mg/L, mientras que Unido (s/a) señala que los valores de DQO varían dependiendo del tipo de proceso que se realiza. Por ello la DQO de diferentes plantas procesadoras de alimentos fluctúa entre 900 a 10 000 mg O<sub>2</sub>/L. En la presente investigación, los valores promedios de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable fueron superiores de 6 500 mg O<sub>2</sub>/l. Esto podría deberse a la materia orgánica, presentes en el extracto crudo. Ndabigengesere y Narasiah (1998) mencionan que «los extractos crudos aportan al agua concentraciones significativas de DQO, TCO y TKN, que podrían traer problemas de calidad en el color, sabor y olores al agua, debido a la descomposición microbiana de los compuestos orgánicos». Así mismo Sánchez *et al.* (2012) señala que «utilizando extracto crudo de moringa, aumenta la DQO». Además indica que este parámetro no es un factor peligroso, porque la materia orgánica es de origen natural y hasta el momento no se han reportado efectos tóxicos de la semilla de moringa.



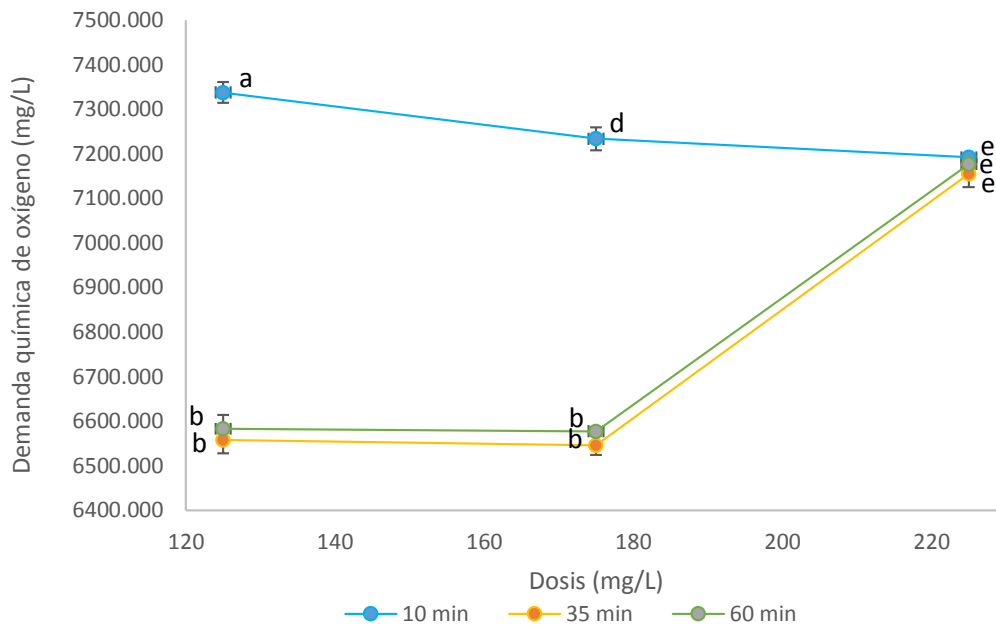
**Figura 20:** Efecto de las dosis del extracto crudo de moringa con respecto a cada tiempo de agitación sobre la demanda química de oxígeno del agua tratada.

**FUENTE:** Elaboración propia.

En la Figura 21 y el Anexo 33, las muestras de extracto de moringa extraídas en los diferentes tiempos de extracción (10, 35 y 60 minutos), cuando se ensayaron dosis de 125 mg/L permiten obtener, en promedio, valores de la DQO fueron de 7 337,52; 6 545,44 y 6 577,30 mg O<sub>2</sub>/l, respectivamente, al menos uno de ellos es diferentes de los demás (Anexo 31). La prueba de diferencia límite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5\%$  (Anexo 34), nos proporciona evidencias que los extractos obtenidos en los diferentes tiempos de agitación de 10 minutos y 35 minutos, también en los de 10 y 60 minutos, son diferentes en forma significativa, mientras que con los extractos de 35 y 60 minutos, los valores DQO son estadísticamente iguales. Luego, en los ensayos, utilizando dosis de 175 mg/L se demuestra que la DQO, con los extractos de 10, 35 y 60 minutos de extracción, fueron de 7 233,49; 6 557,99 y 6 582,54 mg O<sub>2</sub>/l, respectivamente (Anexo 34). Mediante la prueba de diferencia límite significativa (DLS) para un nivel de  $\alpha = 5\%$  (Anexo 34), se demuestra la existencia de diferencias significativas en los extractos de 10 minutos y 35 minutos, al igual que en los extractos de 10 y 60 minutos, mientras que con los extractos de 35 y 60 minutos, los valores de la DQO fueron estadísticamente iguales en

forma significativa. Finalmente cuando los ensayos se llevaron a cabo utilizando una dosis 225 mg/L, con los diferentes extractos, los valores promedios de la DQO fueron de 7 192,37; 7 155,15 y 7 176,47 mg O<sub>2</sub>/l, respectivamente, demostrando en los resultados no existen diferencias significativas en los extractos ( $\alpha = 5 \%$ ) en los tiempos de 10 minutos y 35 minutos, al igual que en los extractos de 10 y 60 minutos y los extractos de 35 y 60 minutos, los valores de la DQO fueron estadísticamente iguales. Como anteriormente se mencionó, las observaciones estarían demostrando que tiempos pequeños de extracción serían insuficientes, para la obtención de una concentración importante de proteína activa, mientras que tiempos de extracción de 35 y 60 minutos son suficientes, para la obtención de una concentración importante de proteína activa, quienes son responsables de la remoción de la turbidez, en la cual existe una relación directa con la DQO.

Además debemos tener en cuenta que los valores de la DQO son mayores a los valores de la DBO<sub>5</sub>. Estas diferencias podría deberse a las características propias de la medición de la DQO, ya que, este parámetro mide, además de la materia orgánica biodegradable, los compuestos inorgánica (Orozco *et al.* 2004). Así mismo, nos indica que existe una relación entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO, permite conocer la naturaleza de los contaminantes orgánicos, que se encuentran presente en el agua. Una relación DBO<sub>5</sub>/DQO < 0,2 indica que los contaminantes no son biodegradables, mientras valores superior a 0,6 indica el predominio de contaminantes orgánicos de naturaleza biodegradable. En la presente investigación la relación de DBO<sub>5</sub> y la DQO fue de 0,59, nos confirman que se trata de compuestos orgánicos biodegradables. Concluyéndose que el tiempo adecuado de extracción de la proteína solubles sería de 35 minutos.



**Figura 21:** Efecto del tiempo de agitación del extracto crudo de moringa con respecto a cada dosis sobre demanda química de oxígeno del agua tratada.

**FUENTE:** Elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES

- En la presente investigación se observó un efecto positivo importante del extracto crudo de la torta de moringa sobre la remoción de la turbidez del agua residual de néctar de maracuyá. La mejor concentración de los extractos crudos de la torta de semilla de moringa fue 20 000 mg/L, permitiendo la remoción de la turbidez del agua residual de néctar de maracuyá en 82 por ciento.
- Las dosis de los extractos crudos de semilla de moringa, aplicados al agua residual fueron 125, 175 y 225 mg/L, respectivamente. La mejor dosificación del extracto crudo de moringa fue de 125 mg/L, con los extractos obtenidos con tiempo de extracción de 35 minutos y 60 minutos, permitieron los mejores resultados de remoción de turbidez 82,71 y 82,40 por ciento respectivamente, en cada caso.
- En la remoción de color, los extractos crudos de moringa, presentó efecto significativo sobre la remoción del color, ya que éste parámetro se ve afectado directamente con la remoción de la turbidez. Con los extractos crudos de moringa obtenidos con tiempo de agitación de 35 minutos y 60 minutos, con dosis de 125 mg/L en cada caso. Los resultados fueron de 73,43 y 72,95 por ciento respectivamente.
- Sin embargo los otros parámetros determinados como la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, se vieron afectados, presentaron un ligero incremento respecto al valor inicial del agua residual de néctar de maracuyá.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- El agua residual procedente de este tipo de tratamiento, se recomienda realizar otros tipos de tratamientos que permitan remover las materias orgánicas presentes en el agua residual.
- Se recomienda estudiar la calidad de las aguas residuales, procedente de las distintas actividades del sector agroindustrial, con el fin de evaluar su tratamiento para reutilizarlo.
- Se recomienda realizar estudios comparativos de los extractos crudos de la torta de semilla de moringa con coagulantes naturales o/y coagulantes químicos en el tratamiento de aguas residuales procedentes del sector agroindustrial.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA PERUANA DE NOTICIAS - PERÚ. 2010. Minag y Sembrando impulsan cultivo de moringa para combatir desnutrición infantil en zonas pobres. Lima Perú. Consultado el 15 de Julio del 2014. Disponible en: <http://www.andina.com.pe/espanol/Noticia>.
- AGRONEGOCIOS. 2013. El cultivo de la moringa ya es una realidad en el Perú. Consultado el 16 de mayo del 2016. Disponible en: <http://www.agronegocios.pe/negocios/item/578-cultivo-de-la-moringa-ya-es-una-realidad-en-el-peru>.
- 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. 20<sup>th</sup> ed. American Public Health Association Washintong, DC.
- ARIAS, S. 2014. Estudio de las posibles zonas de introducción de la Moringa oleífera 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](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.
- BALBIR, S. (s/n). Trees for Life. Consultado el 24 de enero del 2016. Disponible: [http://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa\\_Book\\_Sp\(screen\).pdf](http://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa_Book_Sp(screen).pdf).
- 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.
- BELTRÁN, F.; DIÁZ, C. Y SAÉNZ, V. 2011. Extracción y caracterización de pectinas. Consultado el 14 de agosto del 2016. Disponible: <http://es.slideshare.net/xilberferbeltranfernandez/extraccion-de-pectina>.
- BURGOS, S. Y CALDERÓN, R. 2009. Determinación del contenido de carotenoides totales en ocho especies de frutas y verduras comercializadas en la zona metropolitana de San Salvador. Tesis para optar el título de licenciatura en química y farmacia. Universidad el salvador.
- BRUHNS, E. 2011. *Moringa oleifera* el arbol maravilloso. Salud natural para la vida. Primera edición Alemana. Consultado el 25 de abril del 2016. 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 oleifera* del agua. Universidad de Zulia, Venezuela. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas 41 (2): 244-254 p.
- CARRIÓN, C. 2009. Potentialabschätzung von biogenen abfällen in peru und beurteilung geeigneter biologischer behandlungs-bzw. Verwertungsverfahren. These doctoral an der universsitat für bodenkultur. Abteilung Umweltbiotechnologie. Universidad Boku Viena Austria.
- CAXI, S. 2013. Evaluación de la vida útil de un néctar a base de yacón (*Smallanthus sonchifolius*), maracuyá amarilla (*passiflora edulis*) y stevia (*stevia rebaudiana*) en función de las características fisicoquímicas y sensoriales. Tesis para optar el título profesional de: ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna - Perú.
- 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 marzo 2016. Disponible <http://sinia.minam.gob.pe/normas/se-modifican-diversos-articulos-decreto-supremo-Nº-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](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.
- GOMEZ, K. 2013. Evaluación de rendimiento de extracción y caracterización fitoquímica de la fracción extraíble de semilla de moringa (*Moringa oleífera* Lam.), a nivel laboratorio. Tesis para optar el título de Ingeniero químico. Universidad de San Carlos de Guatemala. 8 p.

- 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\\_chapterpor ciento25204.pdf](http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/9210/11/11_chapterpor ciento25204.pdf).
- LENNTECH. s/n. Wáter treatment solution. Consultado 15 de setiembre de 2015. Disponible en: <http://www.lennotech.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.
- LÓPEZ, J. Y QUIÑONES, L. 2013. “Estudio del mercado norteamericano para la comercialización de *Moringa Oleífera Lam*. Como producto nutracéutico”. Tesis para optar el título de licenciado en administración de empresas. Chiclayo - Perú. 37 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 wiht 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 alternative de coagulante natural para el tratamiento de agua. Tesis en especialidad Química Ambiental. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

- 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.

- PASCUAL, A. s/a. Gestión y mantenimiento de depuradoras en industria agroalimentaria. Sesión 1: introducción. AINIA – Curso de Formación Específica para Técnico de la Industria Agroalimentaria. 33p. Consultado el 30 de mayo 2016. Disponible en: [http://www.ainia.es/html/sites/09/portaldasociado/curso\\_depuradoras.pdf](http://www.ainia.es/html/sites/09/portaldasociado/curso_depuradoras.pdf).
- PICAZO, J. 1995. Aguas residuales en la industria agroalimentaria: Caracterización y sistemas de tratamiento y depuración. Granada. Consultado el 6 de marzo 2015. Disponible en: <http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-03.pdf>.
- R CORE TEAM (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>.
- RADOVICH, T. 2009. Farm and Forestry production and marketing profile for Moringa. Permanent Agriculture Resources. Consultado el 18 de mayo 2014. 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. Medellín, 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.
- 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.

- SÁNCHEZ, J.; BELTRÁN, J. Y PERES, J. 2012. Improvement of the flocculation process in wáter treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. Brazilian journal of chemical engineering. 29 (3): 495- 501 p.
- SANDOVAL, M. Y LAINES, J. 2013. *Moringa oleifera* 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 potenciais 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 2016. 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.

ZERAIK, M.; PEREIRA, C.; ZUIN, V. Y YARIWAKE, J. 2010. Maracujá um alimento funcional. Revista Brasileira de farmacognosia. 20 (3).

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: Curva Estándar De BSA

Se determinó la proteína en los extractos de moringa mediante el método de Lowry con rango de (0 – 2 000 µg/ml), utilizando las instrucciones descritas por Waterborg (1984) citado por Walker (2009).

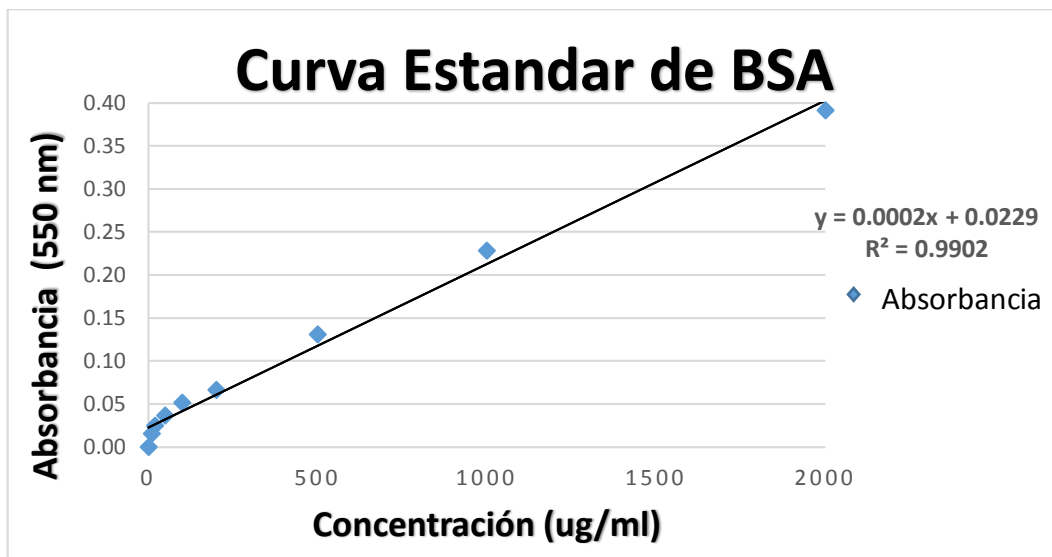


Figura 22: Curva estándar de BSA para método de Lowry.



## ANEXO 2: Resultado de la remoción de la turbidez

Tratamientos	Concentración (mg/L)	Tiempo de Agitación (minutos)	Dosis (mg/L)	Repetición	Resultado de la remoción de la turbidez (RT)	Porcentaje de la remoción de la turbidez (PRT)
T <sub>1</sub>	5 000	10	125	1	176,70	-5,18
T <sub>2</sub>	5 000	10	175	1	192,40	-14,52
T <sub>3</sub>	5 000	10	225	1	210,80	-25,48
T <sub>4</sub>	5 000	35	125	1	193,10	-14,94
T <sub>5</sub>	5 000	35	175	1	189,60	-12,86
T <sub>6</sub>	5 000	35	225	1	214,00	-27,38
T <sub>7</sub>	5 000	60	125	1	197,20	-17,38
T <sub>8</sub>	5 000	60	175	1	190,80	-13,57
T <sub>9</sub>	5 000	60	225	1	209,50	-24,70
T <sub>10</sub>	12 500	10	125	1	171,30	-1,96
T <sub>11</sub>	12 500	10	175	1	163,00	2,98
T <sub>12</sub>	12 500	10	225	1	147,40	12,26
T <sub>13</sub>	12 500	35	125	1	166,20	1,07
T <sub>14</sub>	12 500	35	175	1	154,50	8,04
T <sub>15</sub>	12 500	35	225	1	131,00	22,02
T <sub>16</sub>	12 500	60	125	1	156,70	6,73
T <sub>17</sub>	12 500	60	175	1	141,20	15,95
T <sub>18</sub>	12 500	60	225	1	124,60	25,83
T <sub>19</sub>	20 000	10	125	1	118,40	29,52
T <sub>20</sub>	20 000	10	175	1	105,30	37,32
T <sub>21</sub>	20 000	10	225	1	94,10	43,99
T <sub>22</sub>	20 000	35	125	1	30,50	81,85
T <sub>23</sub>	20 000	35	175	1	72,30	56,96
T <sub>24</sub>	20 000	35	225	1	88,90	47,08
T <sub>25</sub>	20 000	60	125	1	29,70	82,32
T <sub>26</sub>	20 000	60	175	1	77,90	53,63
T <sub>27</sub>	20 000	60	225	1	87,20	48,10

Continuación

T <sub>28</sub>	5 000	10	125	2	182,80	-8,81
T <sub>29</sub>	5 000	10	175	2	188,60	-12,26
T <sub>30</sub>	5 000	10	225	2	219,50	-30,66
T <sub>31</sub>	5 000	35	125	2	201,10	-19,70
T <sub>32</sub>	5 000	35	175	2	197,70	-17,68
T <sub>33</sub>	5 000	35	225	2	218,60	-30,12
T <sub>34</sub>	5 000	60	125	2	208,20	-23,93
T <sub>35</sub>	5 000	60	175	2	202,30	-20,42
T <sub>36</sub>	5 000	60	225	2	221,50	-31,85
T <sub>37</sub>	12 500	10	125	2	175,70	-4,58
T <sub>38</sub>	12 500	10	175	2	160,00	4,76
T <sub>39</sub>	12 500	10	225	2	151,20	10,00
T <sub>40</sub>	12 500	35	125	2	158,20	5,83
T <sub>41</sub>	12 500	35	175	2	150,20	10,60
T <sub>42</sub>	12 500	35	225	2	125,00	25,60
T <sub>43</sub>	12 500	60	125	2	150,20	10,60
T <sub>44</sub>	12 500	60	175	2	139,60	16,91
T <sub>45</sub>	12 500	60	225	2	119,60	28,81
T <sub>46</sub>	20 000	10	125	2	115,80	31,07
T <sub>47</sub>	20 000	10	175	2	96,10	42,80
T <sub>48</sub>	20 000	10	225	2	91,90	45,30
T <sub>49</sub>	20 000	35	125	2	28,70	82,92
T <sub>50</sub>	20 000	35	175	2	70,90	57,80
T <sub>51</sub>	20 000	35	225	2	90,40	46,19
T <sub>52</sub>	20 000	60	125	2	28,90	82,80
T <sub>53</sub>	20 000	60	175	2	80,40	52,14
T <sub>54</sub>	20 000	60	225	2	93,10	44,52

Continuación

T <sub>55</sub>	5 000	10	125	3	177,30	-5,54
T <sub>56</sub>	5 000	10	175	3	186,20	-10,83
T <sub>57</sub>	5 000	10	225	3	231,10	-37,56
T <sub>58</sub>	5 000	35	125	3	195,30	-16,25
T <sub>59</sub>	5 000	35	175	3	207,10	-23,27
T <sub>60</sub>	5 000	35	225	3	226,50	-34,82
T <sub>61</sub>	5 000	60	125	3	194,20	-15,60
T <sub>62</sub>	5 000	60	175	3	205,70	-22,44
T <sub>63</sub>	5 000	60	225	3	234,50	-39,58
T <sub>64</sub>	12 500	10	125	3	169,80	-1,07
T <sub>65</sub>	12 500	10	175	3	157,90	6,01
T <sub>66</sub>	12 500	10	225	3	149,70	10,89
T <sub>67</sub>	12 500	35	125	3	168,10	-0,06
T <sub>68</sub>	12 500	35	175	3	149,70	10,89
T <sub>69</sub>	12 500	35	225	3	133,40	20,60
T <sub>70</sub>	12 500	60	125	3	153,90	8,39
T <sub>71</sub>	12 500	60	175	3	145,50	13,39
T <sub>72</sub>	12 500	60	225	3	123,60	26,43
T <sub>73</sub>	20 000	10	125	3	121,20	27,86
T <sub>74</sub>	20 000	10	175	3	98,90	41,13
T <sub>75</sub>	20 000	10	225	3	92,60	44,88
T <sub>76</sub>	20 000	35	125	3	27,90	83,39
T <sub>77</sub>	20 000	35	175	3	73,10	56,49
T <sub>78</sub>	20 000	35	225	3	88,90	47,08
T <sub>79</sub>	20 000	60	125	3	30,10	82,08
T <sub>80</sub>	20 000	60	175	3	79,10	52,92
T <sub>81</sub>	20 000	60	225	3	88,10	47,56

**ANEXO 3: Análisis de variancia del porcentaje de remoción de la turbidez del agua residual**

<b>Factores</b>	<b>g.l</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>valor F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
Concentración (mg/L)	2	75146	37573	4229.16	< 2.2e-16 ***
Tiempo (minutos)	2	1538	769	86.585	< 2.2e-16 ***
Dosis (mg/L)	2	514	257	28.908	2.918e-09 ***
Concentración:Tiempo	4	2643	661	74.359	< 2.2e-16 ***
Concentración:Dosis	4	4210	1053	118.482	< 2.2e-16 ***
Tiempo:Dosis	4	504	126	14.196	5.562e-08 ***
Concentración:Tiempo:Dosis	8	2521	315	35.466	< 2.2e-16 ***
Error Residual	54	480	9		

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

#### **ANEXO 4: Contenido de proteína soluble en los extractos de moringa**

Reemplazando los valores de absorbancia en la recta lineal (Anexo 1), por el método de Lowry se encontraron los siguientes valores de proteínas solubles de los extractos crudos de torta de moringa.

<b>Tiempo de extracción</b>	<b>Proteína (g/100ml)</b>	<b>Promedio Proteína (g/100ml)</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>(minutos)</b>			
10	1,38	1,41	0,03
	1,43		
	1,43		
35	1,65	1,68	0,04
	1,65		
	1,73		
60	1,55	1,60	0,04
	1,63		
	1,63		

**ANEXO 5: Resultados de la remoción de turbidez del agua tratada**

<b>Tiempo de Agitación (minutos)</b>	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Repetición</b>	<b>Turbidez Residual (NTU)</b>	<b>Promedio de la turbidez residual (NTU)</b>	<b>Desviación</b>	<b>Remoción de la turbidez (por ciento)</b>
10	125	1	118,40	118,47	2,7	29,48
		2	115,80			
		3	121,20			
	175	1	105,30	100,1	4,72	40,42
		2	96,10			
		3	98,90			
	225	1	94,10	92,87	1,12	44,72
		2	91,90			
		3	92,60			
35	125	1	30,50	29,03	1,33	82,72
		2	28,70			
		3	27,90			
	175	1	72,30	72,1	1,11	57,08
		2	70,90			
		3	73,10			
	225	1	88,90	89,4	0,87	46,79
		2	88,90			
		3	90,40			
60	125	1	28,90	29,57	0,61	82,4
		2	29,70			
		3	30,10			
	175	1	77,90	79,13	1,25	52,9
		2	79,10			
		3	80,40			
	225	1	87,20	89,47	3,18	46,75
		2	88,10			
		3	93,10			

**ANEXO 6: Análisis de variancia de la remoción de la turbidez (NTU) del agua residual tratada**

Factores	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	valor F	Pr(>F)
Tiempo (minutos)	2	9168	4584	888.50	< 2e-16 ***
Dosis (mg/L)	2	4964	2482	479.40	2.45e-16 ***
Tiempo:Dosis	4	8030	2008	387.70	< 2e-16 ***
Error residual	18	93	5		

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

**Calculando el valor de DLS:**

$$DLS = t_{(1-\frac{\alpha}{2}, GLE)} \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

$$DLS = t_{(0.975, 18)} \sqrt{\frac{2 * 5}{3}}$$

$$DLS = 3.83$$

**ANEXO 7: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Comparación de dosis (mg/L)</b>	$ \overline{Y}_{1i.} - \overline{Y}_{1j.} $	<b>Significancia</b>
10	125 y 175	18,37	*
	125 y 225	25,60	*
	175 y 225	7,23	*
35	125 y 175	43,07	*
	125 y 225	60,37	*
	175 y 225	17,30	*
60	125 y 175	49,57	*
	125 y 225	59,90	*
	175 y 225	10,33	*

\*: significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 8: Promedio de la remoción de la turbidez (NTU)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>	<b>Remoción de la turbidez (por ciento)</b>
10:125	118,47	29,48
10:175	100,10	40,42
10:225	92,87	44,72
35:125	29,03	82,72
35:175	72,10	57,08
35:225	89,40	46,79
60:125	29,57	82,40
60:175	79,13	52,90
60:225	89,47	46,75



**ANEXO 9: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo.**

<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Comparación de tiempo de agitación de extracción (minutos)</b>	$ \overline{Y}_{1i.} - \overline{Y}_{1j.} $	<b>Significancia</b>
125	10 y 35	89,43	*
	10 y 60	88,90	*
	35 y 60	0,53	n.s
175	10 y 35	28,00	*
	10 y 60	20,97	*
	35 y 60	7,03	*
225	10 y 35	3,47	n.s
	10 y 60	3,40	n.s
	35 y 60	0,07	n.s

\*: significativo a nivel de 5 %

n.s: no significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 10: Resultados del color residual del agua tratada**

<b>Tiempo de Agitación (minutos)</b>	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Repetición</b>	<b>Color residual (UC)</b>	<b>Promedio del color residual (UC)</b>	<b>Desviación</b>	<b>Remoción del color (por ciento)</b>
10	125	1	61	61,67	0,58	10,63
		2	62			
		3	62			
	175	1	52	49,00	3,00	28,99
		2	46			
		3	49			
	225	1	45	43,33	2,08	37,20
		2	41			
		3	44			
35	125	1	19	18,33	0,58	73,43
		2	18			
		3	18			
	175	1	30	29,33	1,16	57,49
		2	28			
		3	30			
	225	1	36	36,67	1,16	46,86
		2	38			
		3	36			
60	125	1	19	18,67	0,58	72,95
		2	18			
		3	19			
	175	1	32	32,67	0,58	52,66
		2	33			
		3	33			
	225	1	35	38,00	3,00	44,93
		2	41			
		3	38			

**ANEXO 11: Análisis de variancia de Color Residual (UC) del agua residual tratada**

Factores	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	valor F	Pr(>F)
Tiempo (minutos)	2	3020.1	1510.0	515.09	< 2e-16 ***
Dosis (mg/L)	2	191.6	95.8	32.75	1.01e-06 ***
Tiempo:Dosis	4	1446.1	361.5	123.56	7.91e-13 ***
Error residual	18	52.7	2.9		

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

**Calculando el valor de DLS:**

$$DLS = t_{(1-\frac{\alpha}{2}, GLE)} \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

$$DLS = t_{(0.975, 18)} \sqrt{\frac{2 * 2.9}{3}}$$

$$DLS = 2.92$$

**ANEXO 12: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Comparación de dosis (mg/L)</b>	$ \overline{Y}_{1i} - \overline{Y}_{1j} $	<b>Significancia</b>
10	125 y 175	12,67	*
	125 y 225	18,33	*
	175 y 225	5,67	*
35	125 y 175	11,00	*
	125 y 225	18,33	*
	175 y 225	7,33	*
60	125 y 175	14,00	*
	125 y 225	19,33	*
	175 y 225	5,33	*

\*: significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 13: Promedio del color residual (UC)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio del color residual (UC)</b>	<b>Remoción del color (por ciento)</b>
10:125	61,67	10,63
10:175	49,00	28,99
10:225	43,33	37,20
35:125	18,33	73,43
35:175	29,33	57,49
35:225	36,67	46,86
60:125	18,67	72,95
60:175	32,67	52,66
60:225	38,00	44,93

**ANEXO 14: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo**

Dosis (mg/L)	Comparación de tiempo de agitación de extracción (minutos)	$ \overline{Y}_{1i.} - \overline{Y}_{1j.} $	Significancia
125	10 y 35	47,33	*
	10 y 60	43,00	*
	35 y 60	0,33	n.s
175	10 y 35	16,33	*
	10 y 60	19,67	*
	35 y 60	3,33	*
225	10 y 35	5,33	*
	10 y 60	6,67	*
	35 y 60	1,33	n.s

\*: significativo a nivel de 5 %

n.s: no significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 15: Resultados de la conductividad eléctrica residual (mS/cm) del agua tratada**

<b>Tiempo de Agitación (minutos)</b>	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Repetición</b>	<b>Conductividad eléctrica residual (mS/cm)</b>	<b>Promedio de la conductividad (mS/cm)</b>	<b>Desviación</b>
10	125	1	1,21	1,23	0,02
		2	1,24		
		3	1,24		
	175	1	1,35	1,36	0,01
		2	1,37		
		3	1,37		
	225	1	1,43	1,44	0,01
		2	1,43		
		3	1,45		
35	125	1	1,28	1,29	0,01
		2	1,29		
		3	1,29		
	175	1	1,46	1,47	0,01
		2	1,46		
		3	1,48		
	225	1	1,62	1,63	0,01
		2	1,62		
		3	1,64		
60	125	1	1,21	1,25	0,04
		2	1,27		
		3	1,27		
	175	1	1,44	1,44	0,01
		2	1,44		
		3	1,45		
	225	1	1,59	1,59	0,01
		2	1,59		
		3	1,60		

**ANEXO 16: Análisis de variancia de la conductividad residual (mS/cm) del agua residual tratada**

Factores	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	valor F	Pr(>F)
Tiempo (minutos)	2	0.0681	0.034	328.54	6.81e-15 ***
Dosis (mg/L)	2	0.3802	0.190	1833.25	< 2e-16 ***
Tiempo:Dosis	4	0.0163	0.004	39.36	1.14e-08 ***
Error residual	18	0.0019	0.0001		

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

**Calculando el valor de DLS:**

$$DLS = t_{(1-\frac{\alpha}{2}, GLE)} \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

$$DLS = t_{(0.975, 18)} \sqrt{\frac{2 * 0.0001}{3}}$$

$$DLS = 0.01$$

**ANEXO 17: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Comparación de dosis (mg/L)</b>	$ \overline{Y}_{1i.} - \overline{Y}_{1j.} $	<b>Significancia</b>
10	125 y 175	0,13	*
	125 y 225	0,21	*
	175 y 225	0,07	*
35	125 y 175	0,18	*
	125 y 225	0,34	*
	175 y 225	0,16	*
60	125 y 175	0,19	*
	125 y 225	0,34	*
	175 y 225	0,15	*

\*: significativo a nivel de 5 %

n.s: no significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 18: Promedio de la conductividad residual (mS/cm) del agua residual tratada**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>
10:125	1,23
10:175	1,36
10:225	1,44
35:125	1,29
35:175	1,47
35:225	1,63
60:125	1,25
60:175	1,44
60:225	1,59



**ANEXO 19: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo**

<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Comparación de tiempo de agitación de extracción (minutos)</b>	$ \overline{Y}_{1i.} - \overline{Y}_{1j.} $	<b>Significancia</b>
125	10 y 35	0,06	*
	10 y 60	0,02	*
	35 y 60	0,04	*
175	10 y 35	0,10	*
	10 y 60	0,08	*
	35 y 60	0,02	*
225	10 y 35	0,19	*
	10 y 60	0,16	*
	35 y 60	0,03	*

\*: significativo a nivel de 5 %

n.s: no significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 20: Resultados de los Sólidos Disueltos Totales (mg/L) del agua residual tratada**

<b>Tiempo de Agitación (minutos)</b>	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Repetición</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>Promedio de los SDT (mg/L)</b>	<b>Desviación</b>
10	125	1	498	498,33	0,58
		2	498		
		3	499		
	175	1	547	555,67	7,51
		2	560		
		3	560		
	225	1	570	573,00	5,20
		2	570		
		3	579		
35	125	1	510	511,33	1,16
		2	512		
		3	512		
	175	1	587	589,00	3,46
		2	587		
		3	593		
	225	1	634	639,33	9,24
		2	634		
		3	650		
60	125	1	508	508,67	1,16
		2	508		
		3	510		
	175	1	576	577,00	1,73
		2	576		
		3	579		
	225	1	632	633,33	1,53
		2	633		
		3	635		

**ANEXO 21: Análisis de variancia de los sólidos disueltos totales (mg/L)**

Factores	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	valor F	Pr(>F)
Tiempo (minutos)	2	7195	3597	171.31	1.92e-12 ***
Dosis (mg/L)	2	54623	27311	1300.54	< 2e-16 ***
Tiempo:Dosis	4	2874	719	34.22	3.46e-08 ***
Error residual	18	378	21		

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

**Calculando el valor de DLS:**

$$DLS = t_{(1-\frac{\alpha}{2}, GLE)} \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

$$DLS = t_{(0.975,18)} \sqrt{\frac{2 * 21}{3}}$$

$$DLS = 7.86$$

**ANEXO 22: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Comparación de dosis (mg/L)</b>	$ \bar{Y}_{1i} - \bar{Y}_{1j} $	<b>Significancia</b>
10	125 y 175	57,33	*
	125 y 225	74,67	*
	175 y 225	17,33	*
35	125 y 175	77,67	*
	125 y 225	128,00	*
	175 y 225	50,33	*
60	125 y 175	68,33	*
	125 y 225	124,67	*
	175 y 225	56,33	*

\*: significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 23: Promedio de los sólidos Disueltos Totales (mg/L)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>
10:125	498,33
10:175	555,67
10:225	573,00
35:125	511,33
35:175	589,00
35:225	639,33
60:125	508,67
60:175	577,00
60:225	633,33

**ANEXO 24: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo**

<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Comparación de tiempo de agitación de extracción (minutos)</b>	$ \overline{Y}_{i.} - \overline{Y}_{j.} $	<b>Significancia</b>
125	10 y 35	13,00	*
	10 y 60	10,33	*
	35 y 60	2,67	n.s
175	10 y 35	33,33	*
	10 y 60	21,33	*
	35 y 60	12,00	*
225	10 y 35	66,33	*
	10 y 60	60,33	*
	35 y 60	6,00	n.s

\*: significativo a nivel de 5 %

n.s: no significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 25: Resultados de Demanda bioquímica de oxígeno del agua residual tratada**

<b>Tiempo de Agitación (minutos)</b>	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Repetición</b>	<b>DBO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	<b>Promedio DBO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	<b>Desviación</b>
10	125	1	4 166,05	4 168,94	17,12
		2	4 153,45		
		3	4 187,33		
	175	1	4 135,22	4 114,88	24,66
		2	4 087,46		
		3	4 121,97		
	225	1	3 953,45	3 940,29	11,50
		2	3 932,18		
		3	3 935,23		
35	125	1	3 853,54	3 843,15	9,26
		2	3 840,13		
		3	3 835,77		
	175	1	3 868,68	3 863,74	12,79
		2	3 849,22		
		3	3 873,32		
	225	1	3 891,07	3 902,54	19,04
		2	3 924,51		
		3	3 892,02		
60	125	1	3 848,73	3 850,05	7,61
		2	3 843,18		
		3	3 858,23		
	175	1	3 873,33	3 885,30	11,06
		2	3 895,12		
		3	3 887,45		
	225	1	3 895,15	3 902,79	10,94
		2	3 915,32		
		3	3 897,90		

**ANEXO 26: Análisis de variancia de la Demanda bioquímica de oxígeno del agua residual tratada.**

Factores	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	valor F	Pr(>F)
Tiempo (minutos)	2	240681	120340	556.80	< 2e-16 ***
Dosis (mg/L)	2	9193	4597	21.27	1.82e-05 ***
Tiempo:Dosis	4	86283	21571	99.81	4.98e-12 ***
Error residual	18	3890	216		

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

**Calculando el valor de DLS:**

$$DLS = t_{(1-\frac{\alpha}{2}, GLE)} \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

$$DLS = t_{(0.975, 18)} \sqrt{\frac{2 * 216}{3}}$$

$$DLS = 25.21$$

**ANEXO 27: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Comparación de dosis (mg/L)</b>	$ \overline{Y}_{1i} - \overline{Y}_{1j} $	<b>Significancia</b>
10	125 y 175	54,06	*
	125 y 225	228,66	*
	175 y 225	174,59	*
35	125 y 175	20,59	n.s
	125 y 225	59,39	*
	175 y 225	38,80	*
60	125 y 175	35,26	*
	125 y 225	52,74	*
	175 y 225	17,49	n.s

\*: significativo a nivel de 5 %

n.s: no significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 28: Promedio de la demanda bioquímica de oxígeno (mg O<sub>2</sub>/L)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio</b>
10:125	4 168,94
10:175	4 114,88
10:225	3 940,29
35:125	3 843,15
35:175	3 863,74
35:225	3 902,54
60:125	3 850,05
60:175	3 885,30
60:225	3 902,79



**ANEXO 29: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo**

<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Comparación de tiempo de agitación de extracción (minutos)</b>	$ \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{1j.} $	<b>Significancia</b>
125	10 y 35	325,80	*
	10 y 60	318,90	*
	35 y 60	6,90	n.s
175	10 y 35	251,14	*
	10 y 60	229,58	*
	35 y 60	21,56	n.s
225	10 y 35	37,75	*
	10 y 60	37,50	*
	35 y 60	0,25	n.s

\*: significativo a nivel de 5 %

n.s: no significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 30: Resultados de la Demanda química de oxígeno del agua residual tratada**

<b>Tiempo de Agitación (minutos)</b>	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Repetición</b>	<b>DQO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	<b>Promedio de la DQO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	<b>Desviación</b>
10	125	1	7 342.38	7 337,52	23,22
		2	7 312.25		
		3	7 357.92		
	175	1	7 259.55	7 233,49	26,15
		2	7 207.25		
		3	7 233.67		
	225	1	7 198.65	7 192,37	5,73
		2	7 187.44		
		3	7 191.02		
35	125	1	6 548.87	6 545,44	21,47
		2	6 522.46		
		3	6 564.98		
	175	1	6 593.11	6 557,99	30,47
		2	6 542.22		
		3	6 538.64		
	225	1	7 127.03	7 155,15	29,85
		2	7 186.47		
		3	7 151.94		
60	125	1	6 568.95	6 577,30	9,31
		2	6 587.34		
		3	6 575.62		
	175	1	6 590.35	6 582,54	31,47
		2	6 547.89		
		3	6 609.36		
	225	1	7 176.13	7 176,47	0,71
		2	7 177.28		
		3	7 175.99		

**ANEXO 31: Análisis de variancia de la Demanda química de oxígeno del agua residual tratada**

Factores	g.l	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	valor F	Pr(>F)
Tiempo (minutos)	2	1435673	717836	1400.3	<2e-16 ***
Dosis (mg/L)	2	820463	410232	800.3	<2e-16 ***
Tiempo:Dosis	4	653396	163349	318.7	<2e-16 ***
Error residual	18	9227	513		

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

**Calculando el valor de DLS:**

$$DLS = t_{(1-\frac{\alpha}{2}, GLE)} \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

$$DLS = t_{(0.975, 18)} \sqrt{\frac{2 * 513}{3}}$$

$$DLS = 38.85$$

**ANEXO 32: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de tiempo y dosis**

Tiempo (minutos)	Comparación de dosis (mg/L)	$ \overline{Y}_{1i} - \overline{Y}_{1j} $	Significancia
10	125 y 175	104,03	*
	125 y 225	145,15	*
	175 y 225	41,12	*
35	125 y 175	31,87	n.s
	125 y 225	609,71	*
	175 y 225	577,84	*
60	125 y 175	24,55	n.s
	125 y 225	618,48	*
	175 y 225	593,93	*

\*: significativo a nivel de 5 %

n.s: no significativo a nivel de 5 %

**ANEXO 33: Promedio de la demanda química de oxígeno (mg O<sub>2</sub>/L)**

Tratamiento	Promedio
10:125	7 337,52
10:175	7 233,49
10:225	7 192,37
35:125	6 545,44
35:175	6 577,30
35:225	7 155,15
60:125	6 557,99
60:175	6 582,54
60:225	7 176,47

**ANEXO 34: Prueba de comparación de las medias de los efectos simples de dosis y tiempo**

<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Comparación de tiempo de agitación de extracción (minutos)</b>	$ \overline{Y}_{1i} - \overline{Y}_{1j} $	<b>Significancia</b>
125	10 y 35	792,08	*
	10 y 60	779,53	*
	35 y 60	12,55	n.s
175	10 y 35	656,19	*
	10 y 60	650,96	*
	35 y 60	5,23	n.s
225	10 y 35	37,23	n.s
	10 y 60	15,91	n.s
	35 y 60	21,32	n.s

\*: significativo a nivel de 5 %

n.s: no significativo a nivel de 5 %



