

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EFECTO COAGULANTE - FLOCULANTE DEL CLADODIO DE TUNA  
(*Opuntia ficus indica*) Y DEL ENDOSPERMO DE MORINGA (*Moringa  
oleífera lam*) EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMESTICAS DE LA PTAR DEL SECTOR 9, DISTRITO DE MANANTAY,  
2018”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**CARRIL FLORES ALANA DEL ROSARIO BLANCA OLGA**

**GÓMEZ GARCÍA YUNG JHELL**

**VÁSQUEZ MENDOZA HOMER**

**PUCALLPA – PERÚ**

**2020**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 119**

En la ciudad de Pucallpa a las 11:30 a.m. del día jueves 24 de setiembre de 2020, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del jurado evaluador designado con MEMO MULT. 067-2020-UNU-FCsFYA-CGT, conformados por los siguientes docentes:

Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez	Presidente
Dr. Grober Panduro Pisco	Miembro
Dra. Julissa Katy Bautista Valencia	Miembro

Se procedió a evaluar a la sustentación de tesis denominado **“EFECTO COAGULANTE – FLOCULANTE DEL CLADODIO DE TUNA (*Opuntia ficus indica*) Y DEL ENDOSPERMO DE MORINGA (*Moringa oleifera lam*) EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PTAR DEL SECTOR 9, DISTRITO DE MANANTAY, 2018”**; presentado por los bachilleres **CARRIL FLORES ALANA DEL ROSARIO BLANCA OLGA, GÓMEZ GARCÍA YUNG JHELL Y VÁSQUEZ MENDOZA HOMER**; asesorado por el **DR. DAVID LEÓN MORENO**, habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del jurado evaluador, las que fueron absueltas por los sustentantes, en consecuencia la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD**, quedando expedito por el otorgamiento del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis.

Siendo las 12:38 p.m. horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

\_\_\_\_\_  
Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez  
Presidente


\_\_\_\_\_  
Dr. Grober Panduro Pisco  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Dra. Julissa Katy Bautista Valencia  
Miembro

## ACTA DE APROBACIÓN

La presente tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Jorge Arturo Mori Vasquez



---

Presidente


Dr. Grober Panduro Pisco



---

Miembro

Dra. Julissa Katy Bautista Valencia



---

Miembro

Dr. David León Moreno



---

Asesor

Bach. Alana del Rosario Blanca Olga Carril Flores



---

Tesista

Bach. Yung Jhell Gómez García



---

Tesista

Bach. Homer Vásquez Mendoza



---

Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION DIRECCION DE  
PRODUCCION INTELECTUAL

**CONSTANCIA**  
**ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION**  
**SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND**

**N° V/0146-2020**

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis), Titulado:

**“EFECTO COAGULANTE - FLOCULANTE DEL CLADODIO DE TUNA (*Opuntia ficus indica*) Y DEL ENDOSPERMO DE MORINGA (*Moringa oleifera lam*) EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA PTAR DEL SECTOR 9, DISTRITO DE MANANTAY, 2018”**

Cuyo autor (es) : **CARRIL FLORES, ALANA DEL ROSARIO BLANCA OLGA  
GÓMEZ GARCÍA, YUNG JHELL  
VASQUEZ MENDOZA, HOMER**

Facultad : CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES  
Escuela Profesional : INGENIERIA AMBIENTAL  
Asesor (a) : Dr. León Moreno, David

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 10%**.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se entrega la presente constancia.

Fecha: 15/09/2020



Dra. DINA PARI QUISPE  
Dirección de Producción Intelectual

**REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**  
**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS**

Yo, ALANA DEL ROSARIO BLANCA OLGA CARRIL FLORES.

Autor de la TESIS titulada:

"EFECTO COAGULANTE-FLOCULANTE DEL CLADODIO DE TUNA (*Opuntia ficus indica*) Y DEL ENDOSPERMO DE MORINGA (*Moringa oleífera lam*) EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA PTAR DEL SECTOR 9, DISTRITO DE MANANTAY, 2018".

Sustentada el año: 2020.

Con la asesoría de: Dr. DAVID LEÓN MORENO.

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES.

Carrera Profesional de: INGENIERÍA AMBIENTAL.

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).


Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 04 / 12 / 2020.

Email: alana.95.rosario@gmail.com

Firma: 

Teléfono: 944233033

DNI: 70416150

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, YUNG JHELL GÓMEZ GARCÍA

Autor de la TESIS titulada:

"EFECTO COAGULANTE - FLOCULANTE DEL CLADODIO DE TUNA (*Opuntia ficus indica*) Y DEL  
ENDOSPERMO DE MORINGA (*Moringa oleifera lam*) EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE  
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PTAR DEL SECTOR 9, DISTRITO DE MANANTAY, 2018"

Sustentada el año: 2020.

Con la asesoría de: Dr. DAVID LEÓN MORENO.

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES.

Carrera Profesional de: INGENIERÍA AMBIENTAL.

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).

Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 04 / 12 / 2020.

Email: yung\_piscis@hotmail.com

Firma: 

Teléfono: 937485896

DNI: 47662648

# REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, HOMER VASQUEZ MENDOZA.

Autor de la TESIS titulada:

“EFECTO COAGULANTE-FLOCULANTE DEL CLADODIO DE TUNA (Opuntia ficus indica) Y DEL ENDOSPERMO DE MORINGA (Moringa oleifera Lam) EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PTAR DEL SECTOR 9, DISTRITO DE MANANTAY, 2018”.

Sustentada el año: 2020.

Con la asesoría de: Dr. DAVID LEÓN MORENO.

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES.

Carrera Profesional de: INGENIERÍA AMBIENTAL.

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

- Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).  
 Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 04 / 12 / 2020.

Email: homervasquez15@hotmail.com

Firma: 

Teléfono: 970085914

DNI: 73017175

## DEDICATORIA

A mi mamá Enith, a mi abuelita Olga, en memoria de mi papá Walter Carril y abuelito Eladio Briones, a quienes les debo el mayor respeto, admiración y cariño por todos los sacrificios que hicieron para forjarme como una persona recta y con valores, por regalarme el mejor de todos los regalos, la educación, que perdurará por el resto de mi vida. A mis queridos y apreciados hermanos Rosa y Baruc por todo el apoyo y confianza, por ser los mejores hermanos que Dios me pudo dar.

A mi amada pareja y compañero de vida, por todos los momentos y experiencias, porque juntos podemos decir primer paso cumplido.

**Alana Del Rosario Blanca Olga.**

A mis padres Pascual Gómez Montes y Gina Berita García Pinedo que siempre me apoyaron en la parte moral y económica, en especial a mi madre por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, mucho de mis logros se los debo a ella y en especial este. A mi hermana por todos los bellos momentos que pasamos juntos y las experiencias que nunca olvidaremos.

A mi novia, esa persona que tuvo paciencia y entrega para conmigo, a esa persona le dedico y agradezco, porque gracias a ti hoy puedo con alegría presentar y disfrutar esta tesis juntos.

**Yung Jhell.**

A Dios, por darme vida, salud y sabiduría a lo largo de mi formación universitaria. A mi familia por su apoyo incondicional desde el inicio, mamá gracias por tu comprensión, apoyo moral y ternura, papá gracias por tus consejos, por tu amor y su sacrificio, a mis hermanos por estar en los momentos más importantes de mi vida. Este logro también es de ustedes. A mis hermanos de corazón por permitirme aprender con ustedes sobre la vida, en especial a Jim Rodríguez Urbina que demostró ser un luchador y salió adelante de una gran adversidad.

**Homer.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos en primer lugar y sobre todas las cosas a Dios, por guiarnos en cada paso de damos, por darnos salud y vida.

A nuestros padres, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y ceer en nosotros, asimismo por anhelar y desear los mejores éxitos en nuestra vida.

Gracias a nuestros demás seres amados, nuestros hermanos y hermanas que siempre estuvieron en tiempos de alegría, tristeza y adversidades que se presentaron en el camino, aconsejándonos y guiándonos por el buen sendero, a los cuales les debemos nuestra eterna gratitud.

Gracias a Dios por permitirnos conceder a todos ellos la felicidad y la alegría que merecen recibir de vernos a cada uno de nosotros profesionales, con una educación superior culminada como el primer peldaño a una vida profesional.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del Problema .....	3
1.2. Formulación del Problema .....	5
1.2.1. Problema General .....	5
1.2.2. Problemas Específicos .....	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes del Problema .....	6
2.1.1. El Nopal o Tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) .....	10
2.1.1.1. El mucílago de la Tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) .....	12
2.1.1.2. El Nopal o Tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) como agente depurador.....	12
2.1.2. Moringa oleífera .....	14
2.1.2.1. Análisis Químico .....	15
2.1.2.2. Moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales ...	16
2.2. Fundamentos teóricos .....	17
2.2.1. Tratamiento de aguas residuales .....	17
2.2.1.1. Tratamiento Primario.....	18
2.2.1.2. Tratamiento Secundario Convencional.....	18
2.2.2. Parámetros de Tratamiento de Aguas Residuales.....	19
2.2.2.1. Sólidos Suspendidos Totales .....	19
2.2.2.2. Turbidez .....	19
2.2.2.3. Temperatura .....	19
2.2.2.4. Potencial de Hidrógeno (pH) .....	20
2.2.2.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	20

2.2.2.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	21
2.2.2.7. Coliformes Termotolerantes .....	21
2.2.3. Partículas en Suspensión.....	21
2.2.3.1. Tamaño de Partículas en Suspensión.....	22
2.2.4. Coloides .....	22
2.2.4.1. Afinidad de las partículas coloidales con el agua .....	23
2.2.4.2. Carga eléctrica y doble capa.....	23
2.2.5. Coagulación .....	24
2.2.5.1. Principales coagulantes .....	25
2.2.5.2. Factores que influyen en la coagulación .....	27
2.2.5.3. Tipos de Coagulación .....	28
2.2.6. Floculación .....	29
2.2.6.1. Tipos de Floculación .....	30
2.2.6.2. Parámetros de la Floculación.....	31
2.2.6.3. Factores que influyen en la Floculación .....	31
2.2.7. Clasificación de los Floculantes.....	32
2.2.7.1. Floculantes Minerales .....	32
2.2.7.2. Floculantes Orgánicos Naturales .....	32
2.2.8. Test de Jarras .....	33
2.2.9. Límites Máximos Permisibles para efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.....	34
2.2.10. Definición de Términos Básicos .....	35
2.2.10.1. Aguas residuales .....	35
2.2.10.2. Coagulación.....	36
2.2.10.3. Floculación .....	37
2.2.10.4. Coloide .....	38
2.2.10.5. Sedimentación.....	38
2.2.10.6. Turbidez.....	38
2.2.10.7. Unidad Nefelométrica de Turbidez.....	39
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	40
3.1. Método de Investigación .....	40
3.2. Población, Muestra y Ubicación .....	40
3.2.1. Población .....	40
3.2.2. Muestra .....	40

3.2.3. Ubicación donde se recolectó la muestra .....	41
3.2.4. Lugar de desarrollo del experimento .....	42
3.3. Procedimiento de recolección de datos.....	43
3.3.1. Procedimiento experimental .....	43
3.3.2. Procedimiento de laboratorio para la obtención de los coagulantes – floculantes de <i>Moringa oleífera</i> lam y Tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ). 44	
3.3.2.1. Obtención del polvo de las semillas de <i>Moringa oleífera</i> en laboratorio.....	44
3.3.2.2. Obtención del mucílago del cladodio de Tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) .....	45
3.3.2.3. Procedimiento en campo para el muestreo de aguas.....	46
3.3.2.4. Tratamiento con coagulantes – floculantes .....	47
3.3.2.5. Técnicas e Instrumentos para recolección de datos .....	49
3.4. Procesamiento para la recolección de datos.....	51
3.5. Tratamiento de datos .....	51
3.5.1. Método Estadístico.....	51
3.5.2. Diseño Experimental .....	51
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1. Resultados de las pruebas del coagulante – floculante de semillas de <i>Moringa oleífera</i> en polvo.....	53
4.1.1. Análisis de varianza de un factor, dosis (8, 10 y 12 mililitros) con cuatro repeticiones por tratamiento .....	55
4.2. Resultados de las pruebas del coagulante – floculante del Cladodio de Tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) en mucílago .....	59
4.2.1. Análisis de varianza de un factor, dosis (20, 22 y 24 mililitros) con cuatro repeticiones por tratamiento .....	60
4.2.2. Variación de los parámetros por efecto de los coagulantes- floculantes.....	64
4.3. Discusión .....	68
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	74
5.1. Conclusiones .....	74
5.2. Recomendaciones .....	75
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	76
ANEXOS.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Taxonomía de la Tuna .....	11
<b>Tabla 2.</b>	Taxonomía de la Moringa oleífera.....	15
<b>Tabla 3.</b>	Tiempos de decantación de las diferentes partículas en función a sus dimensiones.....	22
<b>Tabla 4.</b>	Descripción de los factores de la coagulación .....	28
<b>Tabla 5.</b>	Descripción de los factores de la floculación.....	32
<b>Tabla 6.</b>	LMP para efluentes de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales .....	35
<b>Tabla 7.</b>	Coordenadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ....	41
<b>Tabla 8.</b>	Coordenadas de EMAPACOP S.A.....	42
<b>Tabla 9.</b>	Valores fijados en el agitador múltiple.....	49
<b>Tabla 10.</b>	Materiales de campo, biológicos y de laboratorio.....	50
<b>Tabla 11.</b>	Diseño experimental del tratamiento con coagulante - floculante Moringa.....	52
<b>Tabla 12.</b>	Diseño experimental del tratamiento con coagulante - floculante Tuna (Opuntia ficus indica) .....	52
<b>Tabla 13.</b>	Características fisicoquímicas del agua residual cruda proveniente de la PTAR .....	53
<b>Tabla 14.</b>	Resultados de las pruebas de Moringa oleífera lam .....	54
<b>Tabla 15.</b>	Sólidos Totales en Suspensión.....	55
<b>Tabla 16.</b>	Turbidez (NTU).....	56
<b>Tabla 17.</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) .....	56
<b>Tabla 18.</b>	Potencial de Hidrógeno (pH).....	56
<b>Tabla 19.</b>	Oxígeno Disuelto (OD).....	57
<b>Tabla 20.</b>	Sólidos Totales Disueltos (STD) .....	57
<b>Tabla 21.</b>	Conductividad .....	58
<b>Tabla 22.</b>	Salinidad.....	58
<b>Tabla 23.</b>	Resultados de las pruebas del Cladodio de Tuna .....	59
<b>Tabla 24.</b>	Sólidos Totales Suspendidos (STS).....	60
<b>Tabla 25.</b>	Turbidez (NTU).....	61
<b>Tabla 26.</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). .....	61
<b>Tabla 27.</b>	Potencial de Hidrógeno (pH).....	61

<b>Tabla 28.</b> Oxígeno Disuelto (OD).....	62
<b>Tabla 29.</b> Sólidos Totales Disueltos.....	62
<b>Tabla 30.</b> Conductividad.....	63
<b>Tabla 31.</b> Salinidad.....	63
<b>Tabla 32.</b> Valores removidos en los parámetros.....	64
<b>Tabla 33.</b> Prueba de Post Hoc de Tukey .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Fotografía del Nopal.....	12
<b>Figura 2.</b>	A la izquierda semillas de Moringa oleífera con cáscara. A la derecha el endospermo de la semilla de Moringa oleífera .....	15
<b>Figura 3.</b>	Carga eléctrica de partículas coloidales .....	23
<b>Figura 4.</b>	Remoción de la materia orgánica por coagulación-floculación .....	25
<b>Figura 5.</b>	Fases de la Coagulación .....	29
<b>Figura 6.</b>	Ubicación satelital de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales .....	41
<b>Figura 7.</b>	Ubicación satelital de EMAPACOP S.A.....	42
<b>Figura 8.</b>	Procedimiento de investigación - Proceso de coagulación .....	43
<b>Figura 9.</b>	Proceso de elaboración del polvo de las semillas de Moringa oleífera lam.....	44
<b>Figura 10.</b>	Proceso de elaboración del mucílago del cladodio de Tuna .....	45
<b>Figura 11.</b>	Procedimiento de la toma de muestras del agua residual.....	47
<b>Figura 12.</b>	Valores removidos Moringa.....	66
<b>Figura 13.</b>	Valores removidos Tuna.....	67
<b>Figura 14.</b>	Semillas de Moringa con cáscara.....	89
<b>Figura 15.</b>	Secado de semillas .....	89
<b>Figura 16.</b>	Descascarado manual de las semillas ya secadas.....	89
<b>Figura 17.</b>	Semillas de Moringa sin cáscara .....	89
<b>Figura 18.</b>	Extracción de aceite vegetal y pigmentación (método Soxhlet) .....	89
<b>Figura 19.</b>	Polvo de moringa sin aceite vegetal, ni pigmentación .....	89
<b>Figura 20.</b>	Tuna pelada y cortada en trozos .....	90
<b>Figura 21.</b>	Tuna cortada con agua destilada reposado por 48 horas .....	90
<b>Figura 22.</b>	Obtención de la muestra de aguas residual doméstica .....	90
<b>Figura 23.</b>	Muestras de agua en frascos para su posterior rotulado y etiquetado. ....	90
<b>Figura 24.</b>	Etiquetado y rotulado de las muestras de aguas .....	90
<b>Figura 25.</b>	Medición de parámetros in situ.....	90
<b>Figura 26.</b>	Muestra de agua residual antes de vertir el coagulante de Moringa.....	91
<b>Figura 27.</b>	Muestra de agua con el coagulante ya vertido .....	91

<b>Figura 28.</b> Flóculo Precipitado.....	91
<b>Figura 29.</b> Muestra de agua después del filtrado.....	91
<b>Figura 30.</b> Muestra de agua residual antes de verter el coagulante de Tuna..	91
<b>Figura 31.</b> Muestra de agua después del filtrado.....	91
<b>Figura 32.</b> Análisis de los parámetros .....	92
<b>Figura 33.</b> Multiparámetro HQ40D.....	92
<b>Figura 34.</b> Sondas de pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad, Salinidad, Sólidos totales disueltos, Sólidos totales en suspensión.....	92
<b>Figura 35.</b> Equipo para oxígeno disuelto con agitación para DBO5.....	92
<b>Figura 36.</b> Incubadora para DBO5.....	92

## RESUMEN

La presente investigación, tuvo como objetivo conocer el efecto coagulante – floculante en el tratamiento primario de aguas residuales domesticas de la PTAR, empleando coagulantes naturales obtenidos del cladodio de tuna (*Opuntia ficus indica*) y del endospermo de moringa (*Moringa oleífera lam*), donde se tomó como referencia para el estudio, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas (PTAR) del sector 9, Distrito de Manantay, Provincia de Coronel Portillo, de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Coronel Portillo (EMAPACOPSA); cuyo método de investigación empleado fue experimental a escala de laboratorio, teniendo como población estadística accesible el agua residual doméstica (afluente) entrante a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del sector 9, la cual se abastece de 2,500 viviendas generando 10,515.40 m<sup>3</sup> de aguas residuales en las lagunas facultativas, de la cual se obtuvo 190 Litros como muestra de agua residual doméstica. En el resultado del análisis estadístico ANOVA, se determinó que en la prueba del coagulante Moringa, el parámetro con significancia menor a 0.05, es la del DBO, indicando que para el factor dosis este influye en la remoción de DBO del agua residual tratada, permitiendo así confirmar que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio; para el resto de parámetros de *Moringa oleífera lam* y de la *Opuntia ficus indica*, se determina que superan el 0.05 de significancia, en la cual nos indica que no tienen ninguna influencia del factor dosis en la remoción de los parámetros establecidos, ya que cualquier dosis y/o concentración en estudio va tener el mismo resultado.

**Palabras claves:** Coagulante, floculante, moringa, tuna, DBO.

## ABSTRACT

This thesis research aimed to compare the delimitation of the micro-basin of the objective of this research was "To know the coagulant-flocculant effect in the primary treatment of domestic wastewater from the domestic wastewater treatment plant, using natural coagulants obtained from the cladode of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and the endosperm of moringa (*Moringa oleífera lam*), Where it was taken as a reference for the study, the Domestic Wastewater Treatment Plant of sector No. 09, District of Manantay, Province of Coronel Portillo, of the Municipal Company of Potable Water and Sewerage of Coronel Portillo; whose research method used was "Experimental on a laboratory scale". Having as an accessible statistical population The accessible population is the domestic wastewater (affluent) entering the Wastewater Treatment Plant of sector 9, which supplies 2,500 homes generating 10,515.40 m<sup>3</sup> of wastewater in the lagoons optional and the sample was made from 190 liters of domestic wastewater from the sewage treatment plant in sector 9. The result of which in the statistical analysis ANOVA, it was determined that in the Moringa coagulant test, The parameter with significance less than 0.05 is that of BOD, indicating that for the dose factor this influences the removal of BOD from the treated wastewater, thus allowing to confirm that there are statistical differences between the treatments under study; For the rest of the parameters of Moringa oleífera lam and Opuntia ficus indica, it is determined that they exceed 0.05 of significance, which indicates that they have no influence of the dose factor in the removal of the established parameters, since any dose and / or concentration in study will have the same result.

**Keywords:** Coagulant, flocculant, moringa, tuna, DBO.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la contaminación del agua es sin duda uno de los principales factores involucrados en el desarrollo humano, teniendo en cuenta su influencia en la vida humana; por tanto, requiere de investigaciones como mejorar su calidad a partir de procesos aceptables para el medio ambiente.

Entre las técnicas para el tratamiento de aguas residuales se encuentra el uso de coagulantes-floculantes naturales, con la finalidad de obtener una mejor calidad del agua y generar la reducción del uso de productos sintéticos nocivos a nivel mundial y para la salud humana. (Flaten, 2001)

Las etapas de coagulación y floculación son procesos esenciales y eficaces en el tratamiento de las aguas residuales industriales. A partir de estos procesos físicos y químicos, se obtiene la eliminación de sólidos totales suspendidos, turbidez, color y metales pesados, lo que conlleva a la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Hasta la fecha, los tipos de especies vegetales que se han utilizado ampliamente como coagulantes naturales son *Moringa oleífera* (moringa), *Stychnos potatorum* (nirmali), *Opuntia ficus indica* (cactus) y *Jatropha curcas*, usados en la disminución de contaminantes para los tratamientos de aguas residuales. (Sánchez *et al.*, 2010, Yin, 2010 y Abidin *et al.*, 2013)

Los polímeros orgánicos naturales han llegado a convertirse en gran interés para su uso en distintos tipos de aguas, ya que son compuestos que no generan efectos altamente nocivos al medio ambiente y la salud humana, dada su naturaleza orgánica además de obtenerlos a un bajo costo. (Renault *et al.*, 2009, Yin, 2010, Antov *et al.*, 2012, Fatombi *et al.*, 2013)

En los trabajos experimentales actuales, se ha encontrado variedad de materiales de plantas, las cuales son fuente de coagulantes naturales, una de las más estudiadas es la *Moringa oleífera* cuya actividad coagulante se ha observado a través de la disminución de la turbidez, demanda química de oxígeno y metales pesados (Ndabigengensere y Narasiah, 1998, Okuda *et al.*, 2001 y Ghebremichael *et al.*, 2006), así como propiedades antimicrobianas. (Ghebremichael *et al.*, 2005)

De acuerdo a los antecedentes reportados en diversos estudios científicos, se puede evidenciar que los coagulantes y floculantes de origen natural para la eliminación de turbidez, color, sólidos en suspensión y metales pesados presentes en aguas residuales, han sido utilizados desde hace siglos. (Asrafuzzaman *et al.* 2011)

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del Problema

El aumento constante de las aguas residuales producidas por las comunidades urbanas e industriales, plantea problemas potenciales a nivel mundial para la salud y el ambiente. La tendencia actual en el desarrollo de tecnologías de depuración en plantas de tratamiento se orienta en la utilización de métodos seguros e inoocuos, para mejorar la calidad de estas aguas y disminuir el volumen de su vertido. (Braatz y Kandiah 2004, p.170)

Las aguas residuales domésticas contienen altas concentraciones de materia orgánica que varían con la forma de operación de los mismos. Para remover las altas cargas orgánicas que poseen estas aguas residuales se han ensayado, con éxito, diferentes tipos de tratamientos fisicoquímicos y bacteriológicos (aerobios y anaerobios). (Amuda y Alade, 2006)

Entre los procesos fisicoquímicos que se han empleado comúnmente están: Flotación por aire disuelto; para la remoción de sólidos suspendidos y grasas; Coagulación –floculación, para remover sólidos suspendidos y coloidales. También han sido utilizados los procesos electroquímicos; en estos se produce menor cantidad de lodos residuales que en el proceso de coagulación-floculación. (Morales, Méndez y Tamayo, 2009)

Los procesos fisicoquímicos del tipo coagulación – floculación se utilizan para la remoción de partículas suspendidas y coloidales, siendo uno de sus parámetros operacionales más importantes la turbiedad, que mide

de manera indirecta la concentración de partículas. Existen varios tipos de procesos fisicoquímicos que se han empleado con éxito en los tratamientos de aguas residuales, tales como los de coagulación-floculación, adsorción con carbón activado, oxidación intensiva, entre otros. Uno de estos procesos que ha sido utilizado en la potabilización y tratamiento de aguas residuales es el uso de semillas de *Moringa oleífera lam*, como coagulante. (Kalogo *et al.*, 2001; Folkard *et al.*, 2001; Ghebremichael *et al.*, 2006)

En la actualidad, los coagulantes usados en el Perú, son en su mayoría sales metálicas y polielectrolitos sintéticos, sin embargo, dado que estos químicos son arrastrados al sedimentar, los lodos generados durante el proceso se convierten en un problema ambiental, ya que, por otro lado, en altas dosis pueden llegar a ser tóxicos. (Rodríguez *et al.*, 2007)

Es por ello que se considera oportuno en la Región de Ucayali buscar fuentes naturales alternas para la producción de floculantes amigables con el medio ambiente y más accesibles a las economías emergentes de los países en vías de desarrollo.

El crecimiento demográfico que viene atravesando la ciudad de Pucallpa, contribuye a la deforestación, contaminación ambiental y también a un mayor vertimiento de aguas residuales domésticas, de las cuales dos sectores son recepcionado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), perteneciente a la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Coronel Portillo, el cual presenta un sistema optimizado a través de fitorremediación que utiliza plantas acuáticas de especie *Eichornia crassipes*, una tecnología tipo lagunas facultativas con cuatro lagunas primarias y cuatro lagunas secundarias para cumplir con los límites

máximos establecidos para efluente, de acuerdo al D.S. N° 003-2010-MINAM.

La PTAR fue diseñada para beneficiar a 10, 261 viviendas, lo cual actualmente bordea las 2500 viviendas, esto indica que se debería optar por un tratamiento más rápido y eficiente (EMAPACOP S.A., 2015). Ante esta situación, la presente investigación plantea obtener y utilizar productos de origen natural que muestran ciertas características coagulantes – floculantes, a partir del cladodio de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) y del endospermo de la Moringa (*Moringa oleífera lam*); en los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

- ¿Tiene efecto coagulante - floculante el mucílago obtenido del cladodio de Tuna (*Opuntia ficus indica*) y el polvo obtenido del endospermo de la Moringa (*Moringa oleífera lam*), en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas del sector 9, distrito de Manantay, 2018?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Tiene efecto coagulante - floculante el mucílago obtenido del cladodio de Tuna (*Opuntia ficus indica*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas?
- ¿Tiene efecto coagulante - floculante el polvo obtenido del endospermo de la Moringa (*Moringa oleífera lam*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas?

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del Problema

En los últimos años, diferentes estudios han sido llevados a cabo sobre una variedad de materiales vegetales y animales, que se pueden utilizar como fuente de coagulantes naturales. Aunque se han reportado muchos coagulantes de origen vegetal, solamente cuatro tipos son más conocidos entre la comunidad científica, semillas de Nirmali (*Strychnos potatorum*), *Moringa oleífera*, taninos, y cactus. La mayoría de los extractos naturales se derivan de semillas, de hojas, de cortezas, de raíces y de frutas, extraídos de árboles y de plantas. (Pritchard et al., 2009, p. 799–805)

Por otra parte, Gutiérrez y Mera (2016), en su investigación “Efecto de la *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales en El Cauca, Colombia”, tuvo por objetivo, evaluar el efecto del polvo de semilla de moringa, comparándolo con el sulfato de aluminio, para dos tipos de aguas residuales, del proceso de beneficio de café y del pelado químico de vegetales. Los autores concluyen que la mejor dosis de *Moringa oleífera* fue 4 g/600 mL, en agua residual de beneficio de café y 0,15 g/600 mL en agua del pelado químico de vegetales, estableciendo así que el polvo de semilla de moringa es un coagulante natural más efectivo.

Asimismo; Ramírez y Jaramillo (2016) en la publicación “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua”, mencionan que en los procesos de coagulación y floculación para tratar aguas residuales, logran remover las partículas suspendidas y coloidales las cuales generan

la turbidez del agua, para ello se presentan dos especies con elevada capacidad como coagulantes en agua, como son la *Moringa oleífera* y diversas variedades de cactus, convirtiéndose en una alternativa sostenible para el medio ambiente y favorable para la reducción en costos por el uso de coagulantes químicos. Teniendo como precedente que las partículas orgánicas presentan carga negativa, esta carga interviene en su estabilidad quedando así en suspensión en el agua. Es así que los coagulantes naturales, como la *Moringa oleífera*, actúa mediante la adsorción luego de convertirse en un medio capaz de neutralizar la carga de las partículas y su capacidad es semejante al usar sulfato de aluminio.

Por consiguiente, Pacora *et al.*, (2011), en el artículo titulado, “Optimización del floculante natural de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación de las aguas superficiales del distrito de Santa Rosa provincia de Pallasca”. Ancash refiere: La investigación tuvo como objetivo determinar la proporción óptima entre seis formulaciones de floculante natural de Tuna (*Opuntia ficus indica*) para la clarificación de las aguas superficiales de las acequias del distrito de Santa Rosa. Los resultados obtenidos mostraron valores de turbidímetros bajos, medios, altos y muy altos. Como conclusión el floculante del cladodio de tuna para clarificar aguas superficiales resultó ser eficaz, representando una estrategia para la protección y utilización de aguas.

Según Guzmán, Villabona, Tejada y Garciam (2013), en su artículo técnico “Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión” nos dice que su trabajo tuvo como propósito realizar una revisión bibliográfica acerca del uso de coagulantes naturales de origen

vegetal usados en la remoción de la turbidez en procesos de tratamientos de aguas y dar a conocer también su clasificación, eficiencia y mecanismos de coagulación empleado en cada uno, se hizo una comparación con coagulantes aniónicos, coagulantes catiónicos y coagulantes no iónicos, todos ellos como material vegetal a continuación se hizo una comparación también con el coagulante químico sulfato de aluminio  $AL_2(SO_4)_3$ .

También concluyen que todos los extractos, de origen vegetal, ensayados y reportados por la literatura son eficientes en la remoción de turbidez del agua, se analizó la semilla de *Moringa oleífera* y se obtuvo como resultado que su porcentaje de remoción fue del 90% y 92%, su turbidez inicial fue de 125 NTU y finalmente la dosis óptima fue de 0,05 y 0,15 g de coagulante, los lodos producidos por el tratamiento de las aguas crudas reportados por el estudio son biodegradables, se requieren bajas dosis y por último que todos presentan un buen rendimiento como coagulantes para la remoción de turbidez y color, comparados con el sulfato de aluminio.

Según Yin, (2010) el material vegetal que ha recibido el mayor grado de atención son las semillas de *Moringa oleífera* usada como coagulante primario en la clarificación de aguas. Los componentes coagulantes activos son principalmente polisacáridos o proteínas, los cuales presentan eficiente capacidad de coagulación y floculación de diversidad de contaminantes provenientes de aguas residuales. Por lo tanto, los estudios confirman que son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente. Por lo general, presentan una mínima toxicidad y en

muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua.

Por otro lado, Almendárez, (2014) en Managua – Nicaragua se extrajo y analizó, de la Tuna (*Opuntia Cochenillifera*), un polielectrolito de origen natural. El proceso de extracción se llevó a cabo a través de una serie de operaciones unitarias de secado, molido, tamizado, lixiviación con alcohol etílico, filtración y evaporación. Para la comprobación de su capacidad coagulante, se realizó la prueba de jarra, con aguas superficiales con turbidez de 49 NTU y un pH de 9,14, los resultados mostraron una eficiencia media con el coagulante natural y una baja eficiencia con el coagulante sintético.

Muchas especies de cactus hacen parte de la larga lista de sustancias ensayadas para obtener coagulantes naturales alrededor del mundo. Por ejemplo, en México se extrajo el agente activo de varias especies nativas de cactus (*Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri*). Los coagulantes naturales obtenidos fueron utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas y para la remoción de metales pesados. La remoción de turbidez, de las dos especies fue muy similar para las pruebas con aguas residuales domésticas, para la remoción de metales pesados los coagulantes fueron muy efectivos en un pH alcalino. Los resultados obtenidos permitieron concluir, que los cactus pueden utilizarse, como coagulantes por sí solo, o trabajar junto con el alumbre para aumentar su eficiencia. (Vásquez, 1994)

### **2.1.1. El Nopal o Tuna (*Opuntia ficus indica*)**

Es una planta cactácea conocida también como cactus o tuna que se adapta fácilmente a zonas con escasas de agua. Las hojas no poseen gran cantidad de espinas, presenta un tallo color verdoso y succulento, las flores presentan coloraciones llamativas y sus frutos son pulposos y comestibles (Nogués *et al.*, 2013). Esta planta presenta un alto contenido nutricional tanto para el ser humano como para animales. Es rica en carbohidratos y bajo en valor proteico.

La planta que no requiere tierras de gran calidad, puede crecer en terrenos poco fértiles y de escasa humedad, son mínimos los cuidados que necesita, pueden vivir hasta 80 años, y se ven afectadas por las bajas temperaturas. Es originaria de América, hay 258 especies reconocidas, 100 de las cuales están en México donde se estima que hay 10,000 hectáreas cultivadas con Tuna. También es muy cultivada en Italia, España y Sudáfrica, para consumo humano y la producción mundial de Tuna se estima en 400.000 toneladas. En Colombia es una planta silvestre utilizada algunas veces para ornamentación. (Villabona *et al.*, 2013)

A lo largo de la geografía de América recibe distintos nombres como: Nopal, Tunera, Cardón, Higo mexicano, Penco, Palera, Tasajillo, Palma Forrageira, entre otros.

En base seca, contiene alrededor del 15.48% de proteínas, además de carbohidratos, cenizas y una gran humedad. Tiene baja acidez. En la pulpa hay alto contenido de azúcares. Por lo general, los azúcares presentes son considerados reductores, predomina la glucosa (60%) y la fructosa (40%). (Kiesling y Ferrari, 2005)

Estudios fitoquímicos realizados a la Tuna (*Opuntia ficus indica*), han mostrado abundante presencia de humedad, la cual representa entre un 79% y 94% de su peso. También se han encontrado pequeñas cantidades de hierro y calcio. (Vásquez, 1994)

Son plantas, suculentas arborescentes, arbustivas o rastreras, se caracterizan por tener tallos o cladodios en forma de paletas, que son planos, suculentos y articulados, llamados comúnmente pencas, que alcanzan hasta 60-70 cm de longitud (Figura 1). Sobre ambas caras del cladodio se hallan las yemas, llamadas areolas, que presentan en su cavidad espinas. (Agüero, Rivera & Hernández, 2005). A continuación, en la Tabla 1 se muestra su clasificación taxonómica.

**Tabla 1.** Taxonomía de la Tuna

<b>Nombre Científico</b>	<i>Opuntia ficus indica</i>
<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Subreino</b>	Embryophita
<b>División</b>	Angiospermae
<b>Clase</b>	Dicotyledonea
<b>Orden</b>	Opuntiales
<b>Familia</b>	Cactaceae
<b>Subfamilia</b>	Cactaceace
<b>Genero</b>	Opuntia
<b>Epíteto Especifico</b>	Ficus-indica

Fuente: Kiesling y Ferrari (2005)



Fuente. Mondragón C, Pérez S. "El Nopal como Forraje", FAO, 2003.

**Figura 1.** Fotografía del Nopal

#### **2.1.1.1. El mucílago de la Tuna (*Opuntia ficus indica*)**

Según Sáenz, (2006) es una sustancia gelatinosa consistente, que por sus propiedades se ha empleado en diferentes aplicaciones dentro de la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética, construcción, en el sector energético, agroindustrial y en la industria de aditivos naturales.

El contenido del mucílago de tuna representa un compuesto muy complejo por la capacidad de formar redes moleculares, es un biopolímero que contiene polisacáridos similares a las pectinas que permiten el encapsulamiento y la separación de los sólidos disueltos del agua. (Gutiérrez y Rojas, 2011)

#### **2.1.1.2. El Nopal o Tuna (*Opuntia ficus indica*) como agente depurador**

Aproximadamente hace dos siglos atrás el mucílago del nopal o tuna (*Opuntia ficus indica*) era la mejor fuente depuradora de agua empleado por los antepasados mexicanos al ser un método de fácil utilización, completamente natural y de mínimo costo, siendo actualmente una

alternativa viable en zonas privadas del servicio de agua potable. (Mannise, 2012).

Con la aplicación de este tipo de coagulante vegetal se logra minimizar recursos económicos que a veces es el principal factor limitante al momento de la desinfección del agua para consumo humano. Requiere de bajas dosis de aplicación para contrarrestar los agentes que polucionan el agua y que representan una eficacia similar o superior al Sulfato de Aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ). (Guzmán *et al.*, 2013)

Asimismo, se disminuye la turbidez y a la vez se remueven características que son directamente proporcionales a ella, como es el pH y la conductividad. Según Buttice *et al.*, (2010) el coagulante presente en el mucílago de nopal o tuna muestra también un potencial bactericida, cuya aplicabilidad viene desde años atrás adaptándolas de acuerdo a su aceptabilidad.

Para Jiménez *et al.*, (2012), el tratamiento de agua a partir del mucílago del nopal o tuna como mecanismo neutralizante de color sobre el agua comprobaron que, en agua con alta alcalinidad y turbidez presentó un mejor resultado que en condiciones inversas sobre estas variables.

Las acciones depuradoras del nopal o tuna representan una función importante al momento de implementar un tratamiento, el nopal o tuna cuenta con una acción efectiva al remover arsénico que es perjudicial para la salud del hombre, un problema en las zonas mineras donde se extrae oro. (Plitt, 2010)

### 2.1.2. *Moringa oleífera*

La planta de *Moringa oleífera* (familia Moringaceae), crece entre 7 y 12 m de altura. Sus hojas y semillas, con un alto contenido de proteínas y bajo contenido en toxinas, se usan como alimento animal y humano en varios países de África. Se estima que cada árbol puede producir anualmente hasta 25,000 semillas, con un peso promedio de 0.3 g por semilla. Las semillas también se utilizan en la industria alimentaria, en cosméticos y en medicamentos. (Foidl, Makkar y Becker, 2001; De Saint Sauveur y Hartout, 2001)

Una fracción del contenido proteico de las semillas, cercana al 1%, está constituida por proteínas catiónicas activas que neutralizan y precipitan los coloides del agua igual que como lo hacen los coagulantes industriales, como el sulfato de aluminio (sulfam), sólo que a menor costo (Foidl *et al.*, 2001), también ha reportado que, con una pasta de 2 gramos de polvo de semillas enteras, se pueden potabilizar 20 litros de agua de río. Normalmente, “una semilla entera en polvo es suficiente para clarificar un litro de agua muy turbia”.

Según la clasificación más actualizada (2009) del APG III (Angiosperm Phylogeny Group) que se basa en criterios filogenéticos, la clasificación taxonómica de la *Moringa oleífera* se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Taxonomía de la *Moringa oleifera*

<b>Nombre Científico</b>	<i>Moringa oleifera</i> Lam
<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Clase</b>	Magnoliophyta
<b>Orden</b>	Capparidales
<b>Familia</b>	<i>Moringaceae</i>
<b>Genero</b>	<i>Moringa</i>
<b>Especie</b>	<i>Moringa oleifera</i>
<b>Variedades</b>	<i>M. arbórea</i> , <i>M. borziana</i> , <i>M. concanensis</i> , <i>M. drouhardii</i> , <i>M. hildebrandtii</i> , <i>M. longituba</i> , <i>M. ovalifolia</i> , <i>M. peregrina</i> , <i>M. pygmaea</i> , <i>M. rivae</i> , <i>M. ruspoliana</i> , <i>M. stenopetala</i> .

Fuente:(Espinoza, 2014).



Fuente: (Biome Cosmetica, s.f.)

**Figura 2.** A la izquierda semillas de *Moringa oleifera* con cáscara. A la derecha el endospermo de la semilla de *Moringa oleifera*

### 2.1.2.1. Análisis Químico

Según el artículo de (Anwar, 2008) el análisis químico de la moringa nos dice que cada 100 g de vaina con semillas contienen 86,9 g de agua; 2,5 g de proteínas; 0,1 g de grasa, 8,5 g de carbohidratos, fibra 4,8 g, 2,0 g de ceniza; 30 mg de calcio, 110 mg de fósforo, 5,3 mg de hierro, 184 UI de vitamina A, 0,2 mg de niacina, 120 mg de ácido ascórbico, 310 µg de cobre y 1,8 µg de yodo. El núcleo de la semilla contiene 38,4 g de proteína cruda y 34,7% de aceite graso. El aceite de la semilla contiene 9,3% de ácido palmítico, 7,4% de ácido esteárico, 8,6% ácido behénico y 65,7% de ácido

oleico. Entre los ácidos grasos también han sido reportados los ácidos mirístico y lignocérico. La torta después de la extracción de aceite contiene 58,9% de proteína cruda. (Duke *et al.*, 1987)

Las hojas contienen por cada 100 g: 75 g de agua, 6,7 g de proteínas, 1,7 g de grasa, 14,3 g de carbohidratos, 0,9 g de fibra, 2,3 g de ceniza, 440 mg de calcio, 70 mg de fósforo, 7 mg hierro, 110 µg de cobre, 5,1 µg de yodo, 11.300 UI de vitamina A, 120 µg vitamina B, 0,8 mg de ácido nicotínico, 220 mg de ácido ascórbico y 7,4 mg de tocoferol. Se encuentran sustancias estrogénicas, incluyendo el compuesto antitumoral β-sitosterol y una pectín esterasa. (Duke *et al.*, 1987)

#### **2.1.2.2. Moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales**

El árbol en su totalidad posee diversas propiedades, de las cuáles resalta su uso para el tratamiento de aguas (Folkard *et al.*, 2001). Las semillas proceden de una vaina alargada, de 20 y 45 cm de longitud, la misma que llega a la madurez en 3 meses, son carnosas, cubiertas por una fina cáscara color café, su forma posee estructuras en forma de alas, de 2.5 a 3 mm de largo, el endospermo de la semilla, es de color blanquecido y muy aceitoso.

La semilla de *Moringa oleífera* posee gran cantidad de materia proteínica, se estima, que un 1% de estas proteínas son polielectrolitos catiónicos activos, siendo las proteínas causantes de la desestabilización de los coloides, ya que en su mayoría son de carga.

Su acción como coagulante se basa en la adsorción del material en suspensión y neutralización de cargas, su aplicación, es beneficiosa ya que no se genera grandes volúmenes de lodo en comparación con el alumbre.

(Ndabigengesere *et al.*, 1995). La aplicación de moringa como coagulante es factible ya que no altera el pH, conductividad del agua y el lodo producido resulta ser inocuo.

En cuanto a la dureza del agua, la semilla de *Moringa oleífera* tiene la capacidad de eliminar iones de calcio, magnesio y otros cationes divalentes (Muyibi y Evison, 1995), cuando el agua posee altas cantidades de sales, impide la acción de limpieza de jabones, detergentes y otros, es por ello que también se le considera para la eliminación de dureza en el agua.

El uso de la actividad floculante de *Moringa oleífera* ha sido probado en el proceso de coagulación-floculación para mejorar la calidad del agua y en algunos estudios inclusive han logrado la potabilización mediante su uso.

## **2.2. Fundamentos teóricos**

### **2.2.1. Tratamiento de aguas residuales**

Es cualquier proceso físico, químico y biológico, definido para depurar las condiciones de las aguas residuales a través de procesos unitarios preliminares primarios (coagulación – floculación), secundarios (análisis microbiológicos), o avanzados (biorremediación), a fin de cumplir normas establecidas. (Lara y Hernández, 2005, p.41)

Reynolds, (2002) menciona que la recuperación de aguas residuales no tiene por objetivo esterilizar el agua, es decir dejándola sin especies microbianas, sin embargo, debe asegurar la reducción de microorganismos perjudiciales para su uso industrial o riego. Los tratamientos de aguas residuales consisten en la aplicación de tecnologías conocidas para

mejorar o incrementar la calidad del agua residual. Los procesos físicos – químicos, juegan un papel importante en el tratamiento de aguas residuales, solos o en combinación con los métodos mecánicos, químicos y biológicos.

El objetivo de las aguas residuales es remover sólidos, grasas, aceites y otros materiales flotantes o sedimentables para que el agua residual pueda ser tratada eficientemente y reutilizada o vertida sin ningún riesgo. (EPA, 2000)

#### **2.2.1.1. Tratamiento Primario**

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica. Suele llevarse a cabo mediante sedimentación y tamizado. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. Cabe destacar que, aunque en muchos lugares el tratamiento primario es el único que se le da al agua residual, este es únicamente un tratamiento previo al secundario. (EPA, 2000)

#### **2.2.1.2. Tratamiento Secundario Convencional**

El tratamiento secundario esta principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento. Se llama tratamiento secundario convencional a la combinación de diferentes procesos para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación. (EPA, 2000)

## **2.2.2. Parámetros de Tratamiento de Aguas Residuales**

### **2.2.2.1. Sólidos Suspendidos Totales**

Este término se refiere a las partículas orgánicas e inorgánicas, así como líquidos inmiscibles (líquidos que no pueden mezclarse con otra sustancia) que se encuentren en el agua. Dentro de las partículas orgánicas tenemos fibras de plantas, bacterias y sólidos biológicos. (Campos, 2000, p.49)

Según Romero y Jairo (1996), aquellos de tamaño menor a 0.01 mm presentes en el agua; son los más pequeños, considerados como sólidos no sedimentables, y aquellos con un tamaño superior a 0.01 mm son en su mayoría sedimentables.

### **2.2.2.2. Turbidez**

De acuerdo a Gonzales (2011), la turbidez se define como la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales suspendidos y coloidales como la arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente y otros microorganismos.

Para la medición de la luz se utilizan unos instrumentos llamados turbidímetros o nefelómetros; los resultados de las mediciones se expresan en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT). (Andrade *et al.*, 2010)

### **2.2.2.3. Temperatura**

La temperatura del agua residual es mayor que la temperatura de agua para abastecimiento, como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. Este parámetro es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que muchos procesos biológicos dependen de la temperatura.

Asimismo, es determinante para el desarrollo de la actividad bacteriana, cuyo rango óptimo se encuentra entre 25 °C a 35 °C. Cuando la temperatura se acerca a los 50 °C los procesos de digestión aerobia y nitrificación bacteriana se detienen; por otro lado, cuando la temperatura es menor a 5 °C la actividad microbiana se inhibe. La temperatura se determina en el lugar de muestreo mediante termómetros. (Crites y Tchobanoglous, 2000)

#### **2.2.2.4. Potencial de Hidrógeno (pH)**

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número de iones hidrogeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales. Cuando el número de átomos de hidrógeno (H<sup>+</sup>) excede el número de átomos del oxhidrilo (OH<sup>-</sup>), la sustancia es ácida. (Metalf y Eddy, 1995)

#### **2.2.2.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Se define como la cantidad de materia orgánica e inorgánica susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte en un determinado cuerpo de agua, este parámetro permite obtener la cantidad de oxígeno requerido para oxidar dicha materia orgánica presente, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Esta medición se utiliza para identificar el grado de contaminación del agua. (Rodríguez, 2007)

#### **2.2.2.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La DBO5 muestra la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y mide cuánto oxígeno se consume para su depuración. Cuanto mayor sea la DBO, mayor es la cantidad de materia orgánica degradable. Este parámetro es utilizado como indicador de la carga orgánica vertida por efluentes de aguas residuales o efluentes industriales. (DINAMA 2013)

#### **2.2.2.7. Coliformes Termotolerantes**

Los coliformes Termotolerantes son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Otro de los aspectos negativos del uso de los coliformes totales como indicador es el hecho de que algunos coliformes son capaces de multiplicarse en el agua. (Madigan *et al.*, 1997)

#### **2.2.3. Partículas en Suspensión**

Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas; a este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas.

En general, la turbiedad del agua es causada por las partículas de materias inorgánicas (arcillas), en tanto que el color está formado por las

partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal (por ejemplo, el hierro). (Andia, 2000)

### 2.2.3.1. Tamaño de Partículas en Suspensión

Las partículas se clasifican de acuerdo a su tamaño; así las partículas con diámetro inferior a 1 micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) que corresponden a partículas de materias orgánicas o inorgánicas, se depositan muy lentamente. (Andia, 2000). En la Tabla 3 se mencionan los tiempos de decantación de partículas en función a su tamaño.

**Tabla 3.** Tiempos de decantación de las diferentes partículas en función a sus dimensiones

DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA (mm)	PARTÍCULA REPRESENTATIVA	ÁREA SUPERFICIAL TOTAL	TIEMPO REQUERIDO PARA SEDIMENTAR
10	Grava	3.15 $\text{cm}^2$	0.3 s
1	Arena gruesa	31.50 $\text{cm}^2$	3 s
0.1	Arena fina	315.00 $\text{cm}^2$	38 s
0.01	Sedimento	3150.00 $\text{cm}^2$	33 min
0.001	Bacteria	3.15 $\text{m}^2$	55 horas
0.0001	Partícula coloidal	31.50 $\text{m}^2$	230 días

Fuente: Barrenechea (1983)

### 2.2.4. Coloides

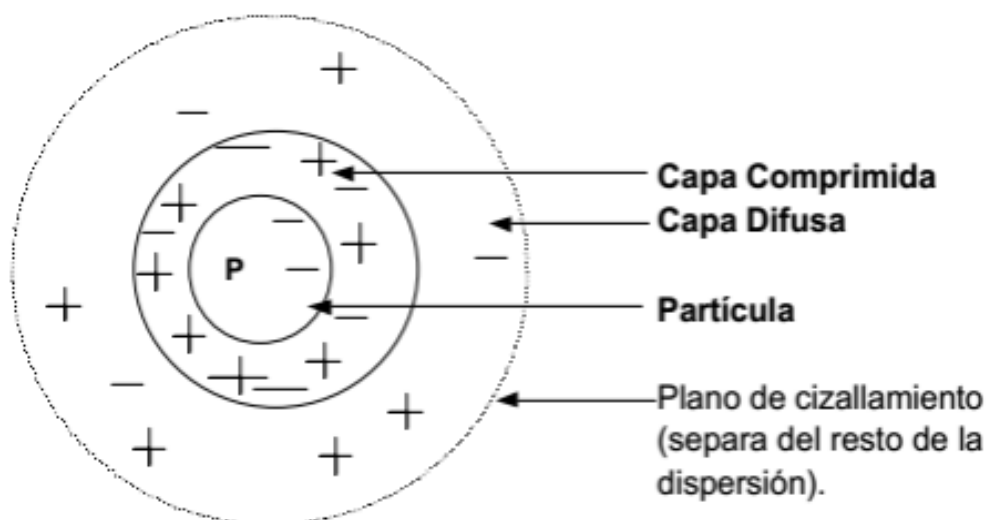
Son diminutas partículas sólidas que no sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero pueden removerse del agua mediante técnicas como coagulación, filtración o acción biológica. Todas las partículas coloidales en una determinada dispersión acuosa, poseen la misma carga eléctrica neta ya sea positiva o negativa. Debido a esto existe entre ellas una repulsión electrostática, que las mantiene separadas, lo cual dificulta su remoción. (Andia, 2000)

### 2.2.4.1. Afinidad de las partículas coloidales con el agua

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicas, al tener afinidad por el agua pueden dispersarse en ella, e hidrófobos, es decir que rechazan al agua. Las partículas hidrófobas son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas, son materias orgánicas. (Andia, 2000)

### 2.2.4.2. Carga eléctrica y doble capa

Las partículas coloidales son las causantes de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos. (Andia, 2000)



Fuente: Andia Cárdenas, et al (2000).

**Figura 3.** Carga eléctrica de partículas coloidales

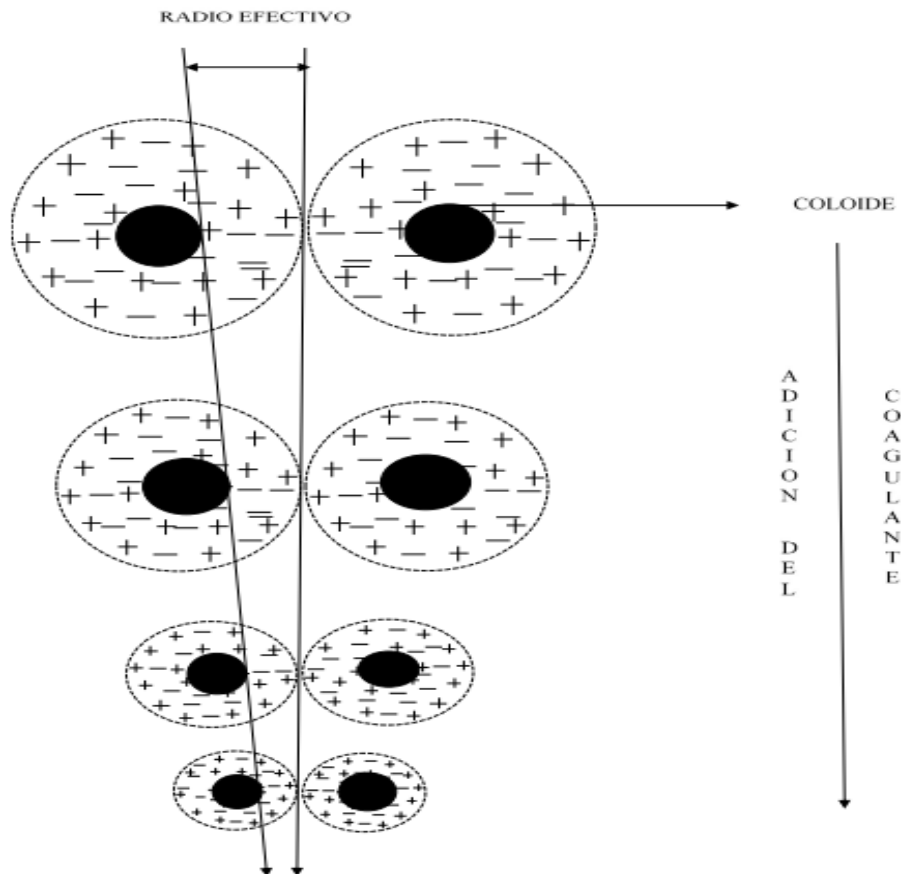
### **2.2.5. Coagulación**

Una de las etapas fundamentales en cualquier proceso de adecuación, es la desestabilización eléctrica de las partículas coloidales, este fenómeno conocido como coagulación, permite que estos pequeños sólidos disueltos en el agua, se aproximen unos a otros lo suficiente como para aglomerarse y formar partículas de mayor tamaño que sedimentan por gravedad.

El proceso se basa en desestabilizar las partículas y coloides, mediante la adición de coagulantes, originando agregados conocidos como flóculos de mayor tamaño, para luego realizar la filtración y eliminación de los flóculos. Además de remover la turbidez, contribuye a la eliminación de materia orgánica y microorganismos. (Andía, 2000)

Este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Para la evaluación de este proceso es necesario tener en cuenta las características físicas y químicas del agua, la dosis del coagulante, la concentración del coagulante, el punto de aplicación del coagulante, la intensidad y el tiempo de mezcla y el tipo de dispositivo de mezcla.



Fuente: Gómez N (Universidad Nacional de Manizales, 2005)

**Figura 4.** Remoción de la materia orgánica por coagulación-floculación

La Figura 4 muestra como la adición del coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso en la “nube de iones” que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.

### 2.2.5.1. Principales coagulantes

#### 2.2.5.1.1. Coagulantes metálicos

Principalmente los coagulantes metálicos son los más utilizados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas residuales. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes- floculantes al mismo tiempo. Los más representativos en la aplicación están:

- Sulfato de aluminio
- Aluminato de sodio

- Policloruro de aluminio
- Cloruro férrico
- Sulfato férrico
- Sulfato ferroso

Sin embargo, tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. Si éste no está dentro del intervalo adecuado la clarificación es pobre y pueden solubilizar Hierro (Fe) o Aluminio (Al) y generar problemas. (Guzmán et al., 2013)

#### **2.2.5.1.2. Polielectrolitos**

Son polímeros orgánicos de gran tamaño molecular con carga eléctrica neta. Inicialmente se utilizaron los de origen natural, como almidón, celulosa, goma de polisacáridos, entre otros. Ahora existen una gran variedad de polielectrolitos sintéticos, disponibles en el mercado. Pueden actuar solos o como coadyuvantes para floculación. (Andía, 2000)

- Catiónicos: Cargados positivamente, cuando entran en contacto con el agua forman aniones, los cuales permiten remover las partículas de carga negativa y son más eficaces a pH bajos.
- Aniónicos: Cargados negativamente, al entrar en contacto con el agua forman cationes, que permiten remover partículas de carga positiva y son más eficaces a pH altos.
- No iónicos: Son neutros, al entrar en contacto forman iones positivos y negativos. Pero se necesitan dosis mayores en comparación con los anteriores para obtener resultados similares.

### **2.2.5.1.3. Coagulantes naturales**

Los polímeros naturales se han usado por más de 4000 años en países como la India, África y China. Además, son una alternativa con un alto potencial que aún no se ha explotado y que presentan una mínima o nula toxicidad, en muchos casos son productos alimenticios, con alto contenido de carbohidratos y proteínas. Algunos se fabrican a partir de productos naturales con capacidad coagulante y desinfectante: alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales), derivados de la celulosa, ciertas gomas, *Moringa oleífera* (Moringa), *Jatropha curcas* (Piñón Mejicano), *Hibiscus sabdariffa* (Rosa de Jamaica), *Prosopis juliflora* (Frijol mezquite), *Cactus latifaria* en Venezuela y *Opuntia ficus indica* (Nopal, tuna). (Solís et al., 2012)

### **2.2.5.2. Factores que influyen en la coagulación**

En el proceso de coagulación existen distintos factores que pueden ser ventajosos; ya sea para desestabilizar las partículas coloidales, para la formación de los flóculos o para la precipitación de estos. (Andía, 2000). Es necesario tener en cuenta los factores que influyen en la coagulación, con la finalidad de optimizar el proceso como se detalla en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Descripción de los factores de la coagulación

<b>FACTOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Tipo de coagulante</b>	Existen varios tipos de coagulantes, cada tipo presenta cualidades físicas y químicas variables, algunos de ellos son empleados en aguas duras, otros con el fin de ajustar el pH en una zona óptima de coagulación. La elección del coagulante debe basarse en pruebas de laboratorio para hacer una comparación exacta entre los tipos de coagulantes que se pretenden utilizar y una muestra del agua a la que se le dará el tratamiento.
<b>Cantidad del coagulante</b>	La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así: Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escaso, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada. <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.</li> </ul>
<b>Temperatura</b>	Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floculo. La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra. El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.
<b>Mezcla</b>	Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas. La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 um. La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo.
<b>Turbiedad</b>	El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.
<b>pH</b>	La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.
<b>Dosis del coagulante</b>	

Fuente: Andía, (2000)

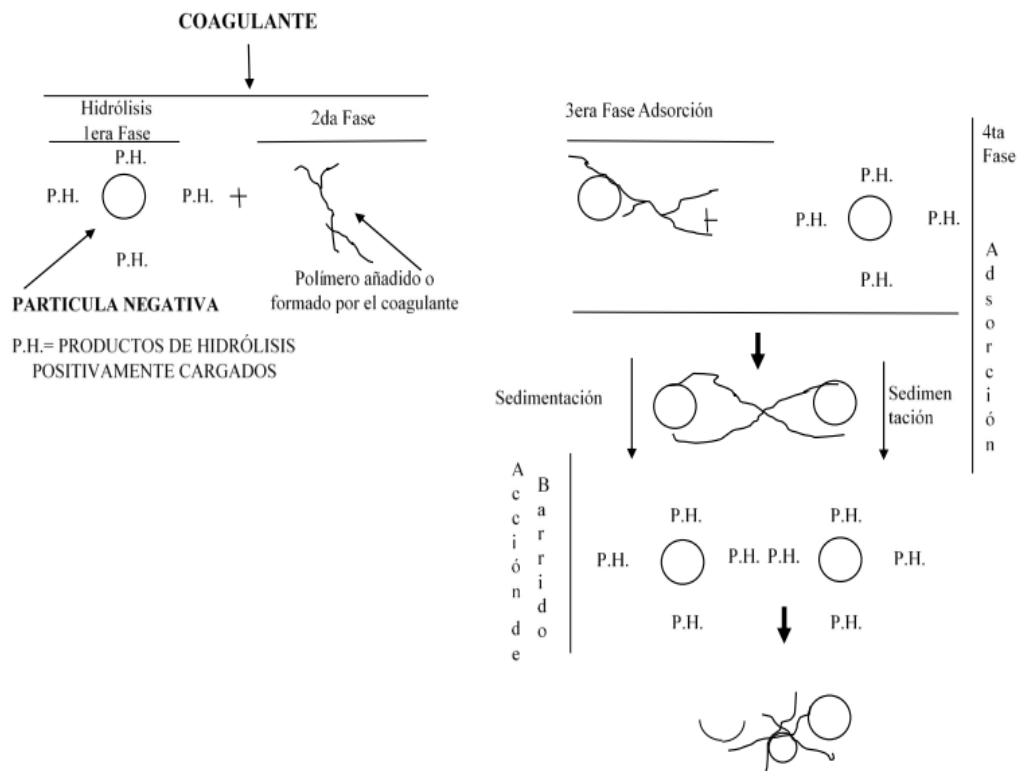
### **2.2.5.3. Tipos de Coagulación**

La coagulación se presenta por dos tipos básicos: Por adsorción y por barrido.

- **Coagulación por adsorción:** Se produce cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de

los coagulantes son absorbidos por los coloides y forman flóculos en forma casi instantánea. (Andía, 2000)

- **Coagulación por barrido:** Este tipo de coagulación se presenta normalmente cuando el agua es clara y el porcentaje de partículas coloidales es pequeño. En este caso, las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado de hidróxido de aluminio. (Andía, 2000). En la figura 5 se muestra gráficamente las etapas de coagulación.



Fuente: Andía, (2000)

**Figura 5.** Fases de la Coagulación

### 2.2.6. Flocculación

Consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico – flóculos.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso lo rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso.

Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración. (Andía, 2000)

### **2.2.6.1. Tipos de Floculación**

#### **2.2.6.1.1. Floculación Pericinéctica o Browniana.**

Se realiza la aglomeración naturalmente entre el coagulante y las partículas en el agua, este movimiento es conocido como movimiento browniano. (Andía, 2000)

#### **2.2.6.1.2. Floculación Ortocinéctica**

La aglomeración de las partículas en el agua es ocasionada por una energía externa la misma que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación Pericinéctica luego se produce la floculación Ortocinéctica. (Andía, 2000)

### **2.2.6.1.3. Sedimentación Diferencial**

Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente y ambas se aglomeran. (Andía, 2000)

### **2.2.6.2. Parámetros de la Floculación**

Los siguientes puntos caracterizan la floculación, por lo tanto, influyen en la calidad final del agua. (Andía, 2000):

- Floculación Ortocinética: Se da por el grado de agitación proporcionada por medios mecánicos o hidráulicos.
- Gradiente de velocidad: Determina la intensidad de la mezcla rápida requerida para una adecuada floculación.
- Número de colisiones: Se refiere al choque entre los flóculos formados para formar otros de mayor tamaño.
- El tiempo de retención del agua en la unidad de floculación.
- Densidad y tamaño del flóculo.
- Volumen de datos.

### **2.2.6.3. Factores que influyen en la Floculación**

Al igual que en la coagulación, para el proceso de floculación existen parámetros que brindan un beneficio o que pueden perjudicar el proceso y que están relacionados con la naturaleza del agua, el tiempo de floculación, gradiente de velocidad y variación del caudal (Vargas, 2004), tal como se detalla en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Descripción de los factores de la floculación

<b>FACTORES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Naturaleza del agua</b>	Las características fisicoquímicas del agua influyen en gran medida, tanto en la coagulación como en la floculación, algunos iones presentes en las aguas pueden afectar el tiempo de floculación. La concentración y naturaleza de las partículas suspendidas en el agua afectan la velocidad de floculación ya que esta es proporcional a la concentración y al tamaño inicial de las partículas.
<b>Tiempo de floculación</b>	Existe un tiempo óptimo para la floculación que se determina mediante prueba de jarras, y que debe ser considerado para conocer el tiempo que debe permanecer el agua en el tanque floculador. La permanencia del agua durante un tiempo inferior o superior al óptimo produce resultados inferiores; y más acentuado es este cuanto más alejado este del tiempo óptimo.
<b>Gradiente de velocidad</b>	Es necesario ajustar el gradiente de velocidad de manera decreciente ya que, cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de floculación; sin embargo, a medida que los flóculos van aumentando su tamaño, las fuerzas de cizallamiento desintegran los flóculos. La resistencia de los flóculos depende de su tamaño, forma y compactación; asimismo, del tamaño, forma y naturaleza de las partículas que los componen; y del número y forma de los ligamentos que unen a dichas partículas
<b>Variación del caudal</b>	La variación de este factor también produce cambios en otros factores, estos son: el tiempo de floculación y el gradiente de velocidad. Al disminuir el caudal, aumenta el tiempo de retención y disminuye el gradiente de velocidad. Al aumentar el caudal, el tiempo de retención disminuye y el gradiente de velocidad aumenta.

Fuente: Andía, (2000)

## **2.2.7. Clasificación de los Floculantes**

### **2.2.7.1. Floculantes Minerales**

Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución. (Andía, 2000)

### **2.2.7.2. Floculantes Orgánicos Naturales**

Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Entre los coagulantes naturales están los de origen orgánico que se encuentran en ciertas plantas. Los extractos de las semillas de la planta

*Moringa oleífera* son bastante efectivas en el caso de aguas con alta turbidez y al utilizar su ingrediente activo (un polielectrolito orgánico) se puede purificar agua con baja turbidez. (Okuda *et al.*, 2001)

También existen los floculantes orgánicos como el alginato de sodio, originado de ácido algínico extraído de algas marinas, que se pueden utilizar para mejorar el tratamiento con cloruro de hierro y sulfato de aluminio. Otros floculantes orgánicos son los almidones extraídos de la papa, yuca y extractos de semillas de plantas. (Degremont, 1991)

Existen otros muchos floculantes orgánicos naturales (polisacáridos, derivados de celulosa) principalmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales de procesos industriales específicos como hidrometalurgia, papel, tenería, textiles, etc. (Degremont, 1991; Mishra *et al.*, 2004)

#### **2.2.8. Test de Jarras**

Para el proceso de coagulación - floculación es necesario determinar la cantidad del coagulante a agregar al agua, para ello se tiene que hacer un ensayo conocido como “Jar Test” o Test de Jarras. La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas.

Este método permite realizar ajustes en las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado a pequeña escala, con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a mayor escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor. (Abramovich *et al.*, 2004)

El aparato de prueba de jarra contiene seis remos que remueven el contenido de seis envases o vasos, mismos que deben ser de 2 litros (L), preferentemente, o de 1 L alternativamente. Se debe evitar usar vasos más pequeños, debido a la dificultad de obtener precisión en la dosificación de pequeños volúmenes de coagulantes. Un envase actúa como un control, mientras que la condición de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Presenta un medidor de revoluciones por minuto (RPM) el cual permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores. (Acosta, 2006)

### **2.2.9. Límites Máximos Permisibles para efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.**

De acuerdo a la Ley General del Ambiente N° 28611, en el Artículo 32° - del Límite Máximo Permisible dispone los siguientes:

El límite máximo permisible – LMP, es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente, su cumplimiento es exigible por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiere, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

**Tabla 6.** LMP para efluentes de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en Suspension	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

## 2.2.10. Definición de Términos Básicos

### 2.2.10.1. Aguas residuales

Son todas aquellas aguas cuya calidad se vio afectada por actividades humanas, las cuales requieren un tratamiento para su reúso o descarga a en la red de alcantarillado. En general, estas aguas constituyen un líquido y una parte sólida conocido como lodo. (Reynolds, 2002)

La diferencia entre aguas servidas y residuales es en el sentido de que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a las mezclas de aguas domésticas e industriales. (Gómez, 2002). Así también, Hernández (1997), refiere que en todo caso están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de aguas de terreno.

Según su procedencia se diferencian en:

#### 2.2.10.1.1. Aguas residuales domésticas (aguas servidas)

Las aguas residuales domésticas se constituyen principalmente de los residuos líquidos generados en zonas residenciales, viviendas,

comerciales o institucionales, y se caracterizan por pertenecer a las actividades domésticas de la vida diaria. Estas se dividen en dos grupos:

- Aguas negras: Aguas que transportan heces y orina, provenientes del inodoro.
- Aguas grises: Aguas jabonosas que pueden contener grasas también, provenientes de las duchas, tina, lavamanos, lavaplatos, lavadero y lavadora.

Este tipo de residuos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas que son evacuadas al alcantarillado; sin embargo, este sistema no cuenta con una cobertura total en todo el país, lo que genera que muchos de estos residuos sean vertidos a cuerpos de agua sin ningún tipo de control. (Barba, 2002)

#### **2.2.10.1.2. Aguas residuales industriales**

Aquellas aguas que antes de su tratamiento se originaron como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras. (Aquino, 2017)

#### **2.2.10.1.3. Aguas municipales**

Aquellas aguas que provienen de las aguas residuales domésticas que pueden, incluir la mezcla con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado. (Aquino 2017)

### **2.2.10.2. Coagulación**

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los

mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. Los coagulantes más ampliamente usados están hechos a base de sales de hierro y aluminio. Los más ampliamente usados son sulfatos de aluminio, cloruro de hierro (II) y sulfato de hierro (II). (Kelderman y Kruis, 2001)

La coagulación es el método más importante para la remoción de partículas coloidales y suspendidas (80- 90% de remociones) del agua en su potabilización. Metcalf (1979). Además de reducir la turbidez del agua, la coagulación parcialmente remueve el color, bacterias (80- 90%). Metcalf (1979) y virus. (Kelderman y Kruis, 2001)

### **2.2.10.3. Floculación**

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. Suceden que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados. (Kelderman y Kruis, 2001)

#### **2.2.10.4. Coloide**

Las partículas coloidales en el agua por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1.000 mil micrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen.

Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad. En términos generales, los denominados coloides presentan un tamaño intermedio entre las partículas en solución verdadera y las partículas en suspensión. (Barrenechea, 1983)

#### **2.2.10.5. Sedimentación**

Se entiende por sedimentación al proceso de remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión cuyo peso específico es mayor que el del agua. La sedimentación es un fenómeno físico y constituye una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Cuando ocurre la sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. Es común que se utilicen los términos clarificación y espesamiento para designar a la sedimentación, sin embargo, se hablará de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado y de espesamiento cuando el interés sea hacia la suspensión concentrada. (Maldonado, 2010)

#### **2.2.10.6. Turbidez**

Se entiende por turbidez o turbiedad a la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez.

En potabilización del agua y tratamiento de aguas residuales, la turbidez es considerada como un buen parámetro para determinar la calidad del agua, a mayor turbidez menor calidad. (Alcaraz, 2017)

#### **2.2.10.7. Unidad Nefelométrica de Turbidez**

Es una unidad utilizada para medir la turbidez de un fluido, sólo líquido y no aplicable a gases o atmósfera. Corresponde con una concentración del producto utilizado como patrón llamado Formacina, que es una suspensión que se puede crear utilizando soluciones acuosas de Sulfato de Hidracina y Hexametilentetramina en unas proporciones conocidas para formar el patrón de turbidez de 400 NTU. (Metalf y Eddy, 1995)

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Método de Investigación

La investigación fué de tipo experimental a escala de laboratorio, determina las relaciones causa – efecto, en distintas concentraciones de polvo de la capacidad coagulante - floculante del cladodio de Tuna (*Opuntia ficus indica*) y del endospermo de Moringa (*Moringa oleífera lam*) en aguas residuales domésticas, a través de un análisis estadístico de los datos obtenidos en campo y laboratorio, confirmando la validez de sus resultados con la aplicación de un diseño experimental, permitiendo hacer comparaciones con los parámetros ya establecidos en los Límites Máximo Permisible (LMP). Asimismo, el enfoque de investigación es cuantitativo debido a que los resultados provienen de la medición y permite la experimentación.

#### 3.2. Población, Muestra y Ubicación

##### 3.2.1. Población

La población accesible es el agua residual doméstica (afluente) entrante a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del sector 9, la cual se abastece de 2500 viviendas generando 10515,4 m<sup>3</sup> de aguas residuales en las lagunas facultativas.

##### 3.2.2. Muestra

Se obtuvo la muestra de 190 Litros de agua residual doméstica proveniente de la Planta de tratamiento de aguas residuales del sector 9.

### 3.2.3. Ubicación donde se recolectó la muestra

La muestra se recolectó de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales del sector 9 (AA.HH. La gran vía de Manantay), pertenecientes al distrito de Manantay, Provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali (Figura 6), con coordenadas que se detallan en la (Tabla 7).



Fuente: Google Maps 2019.

**Figura 6.** Ubicación satelital de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

**Tabla 7.** Coordenadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
EMPRESA	EMPACOP S.A.
COORDENADAS	8°25'52.2"S 74°34'30.9"W
DISTRITO	MANANTAY
SUPERFICIE TOTAL	41.000 m <sup>2</sup>

### 3.2.4. Lugar de desarrollo del experimento

La muestra se analizó y desarrolló en el Laboratorio de Aguas Residuales de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Coronel Portillo (EMAPACOP S.A.), ubicado en el distrito de Callería (Figura 7), con coordenadas que se detallan posteriormente (Tabla 8).



Fuente: Google Maps.

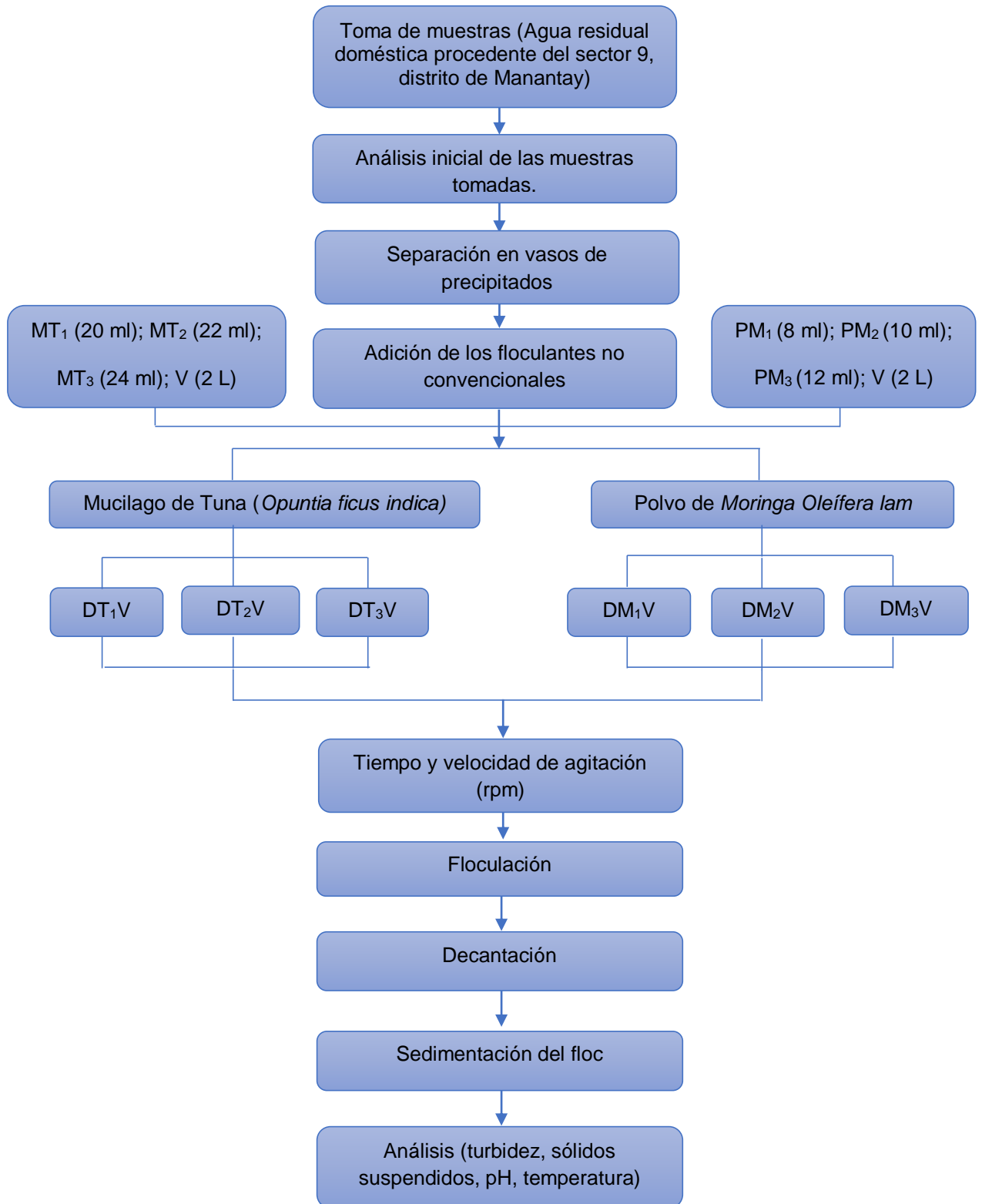
**Figura 7.** Ubicación satelital de EMAPACOP S.A

**Tabla 8** Coordenadas de EMAPACOP S.A

<b>Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Coronel Portillo</b>		
COORDENADAS	Norte 74°31'36.6"W	Sur 8°22'37.4"S
DISTRITO	CALLERIA	

### 3.3. Procedimiento de recolección de datos

#### 3.3.1. Procedimiento experimental



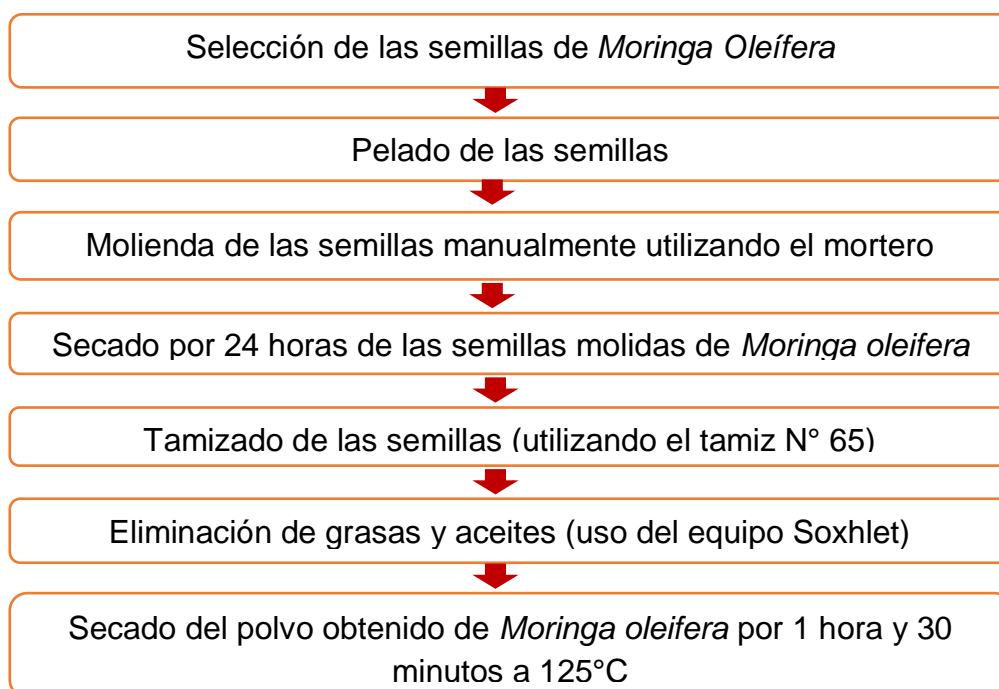
MT: Mucílago de Tuna; PM: Polvo de Moringa; V: Volumen de agua residual doméstica; DT: Dosis de Tuna; DM: Dosis de Moringa; V: Volumen de agua residual

**Figura 8.** Procedimiento de investigación - Proceso de coagulación

### 3.3.2. Procedimiento de laboratorio para la obtención de los coagulantes – floculantes de *Moringa oleífera lam* y Tuna (*Opuntia ficus indica*).

#### 3.3.2.1. Obtención del polvo de las semillas de *Moringa oleífera* en laboratorio.

Para extraer el coagulante en polvo se aplicó un procedimiento similar al sugerido por Meneses, (2015) donde es necesario en primera instancia someterlas a un proceso de secado luego descascarado manual, una vez descascaradas, las semillas fueron trituradas utilizando el mortero y pilón reduciendo así su tamaño, para que posteriormente pase por el tamiz del laboratorio. Finalmente se extrajo las grasas y aceites empleando el extractor Soxhlet como se indica en la figura 9.

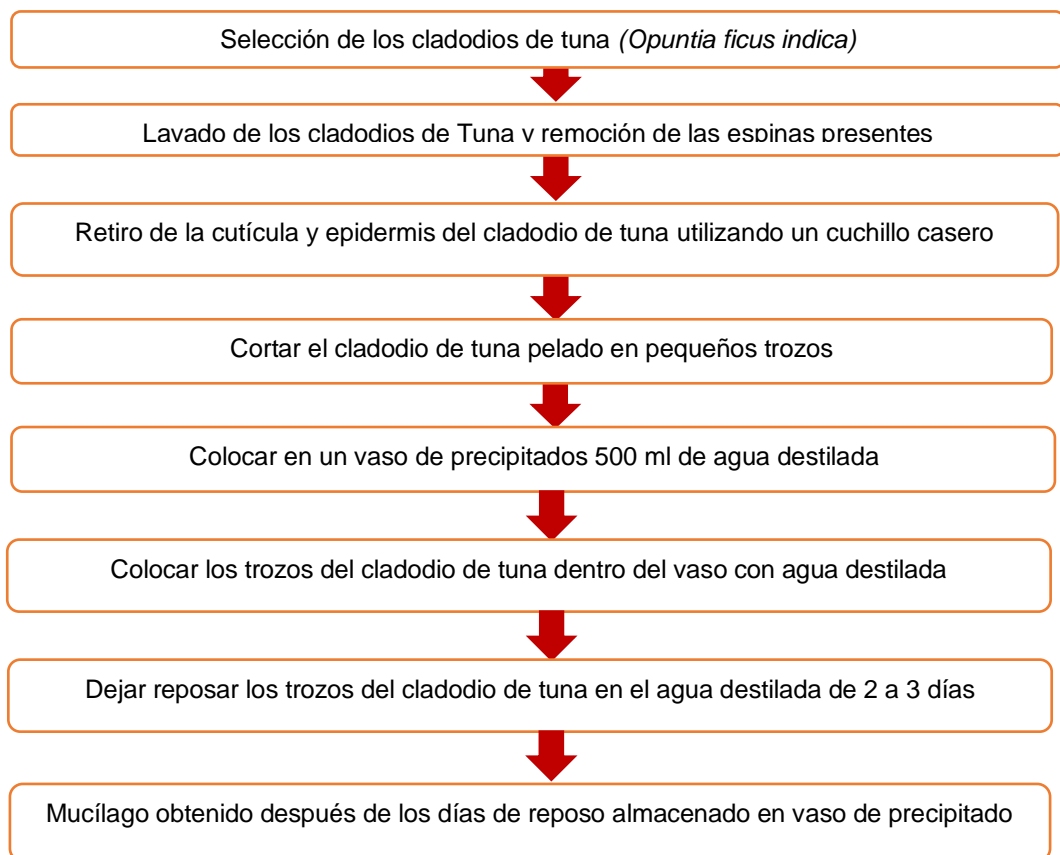


**Figura 9.** Proceso de elaboración del polvo de las semillas de *Moringa oleífera lam*

- De acuerdo a la Figura 9, se seleccionó 35.7g de semillas; así mismo se procedió con el descascarado manual obteniendo un peso final de 25.8g.

- Una vez descascaradas, fueron trituradas utilizando el mortero y pilón reduciendo así su tamaño.
- Las semillas ya trituradas se sometieron al secado en la mufla a una temperatura de 120 °C por 24 horas, disminuyendo su peso a 24 g
- Se tamizó el polvo utilizando el tamiz número N° 65 obteniendo un peso de 23.7g.
- Finalmente se utilizó el equipo Soxhlet para extraer la grasa y aceite vegetal, el cual fue extraído para poder aprovechar la proteína que las semillas contienen, la cual es importante durante el proceso de coagulación – floculación del agua.

### 3.3.2.2. Obtención del mucílago del cladodio de Tuna (*Opuntia ficus indica*)



**Figura 10.** Proceso de elaboración del mucílago del cladodio de Tuna

- Como se observa en la Figura 10 para obtener el mucilago del cladodio de Tuna en primera instancia se seleccionó el cladodio más fresco.
- Luego en el laboratorio se determinó el peso del cladodio (509.4 gr.), así mismo se procedió a su lavado con agua potable, se retiraron las espinas presentes con cuchillo de mesa de 20 cm de hoja rígida.
- Se retiró la cutícula y epidermis del cladodio de Tuna (139.6 gr.) usando el mismo cuchillo. Obteniendo finalmente 369.8 gr. de tejido vascular (córtez y xilema).
- Se procedió a cortar el tejido vascular en pequeños trozos de 2 a 3 cm.
- Se colocó en un vaso de precipitado de 2 Litros, 500 ml de agua destilada, luego se añadió los trozos pequeños dentro del vaso.
- Se dejó reposar los trozos en el agua destilada de 2 a 3 días.
- Al pasar los 2 a 3 días de reposo se obtuvo el mucilago.

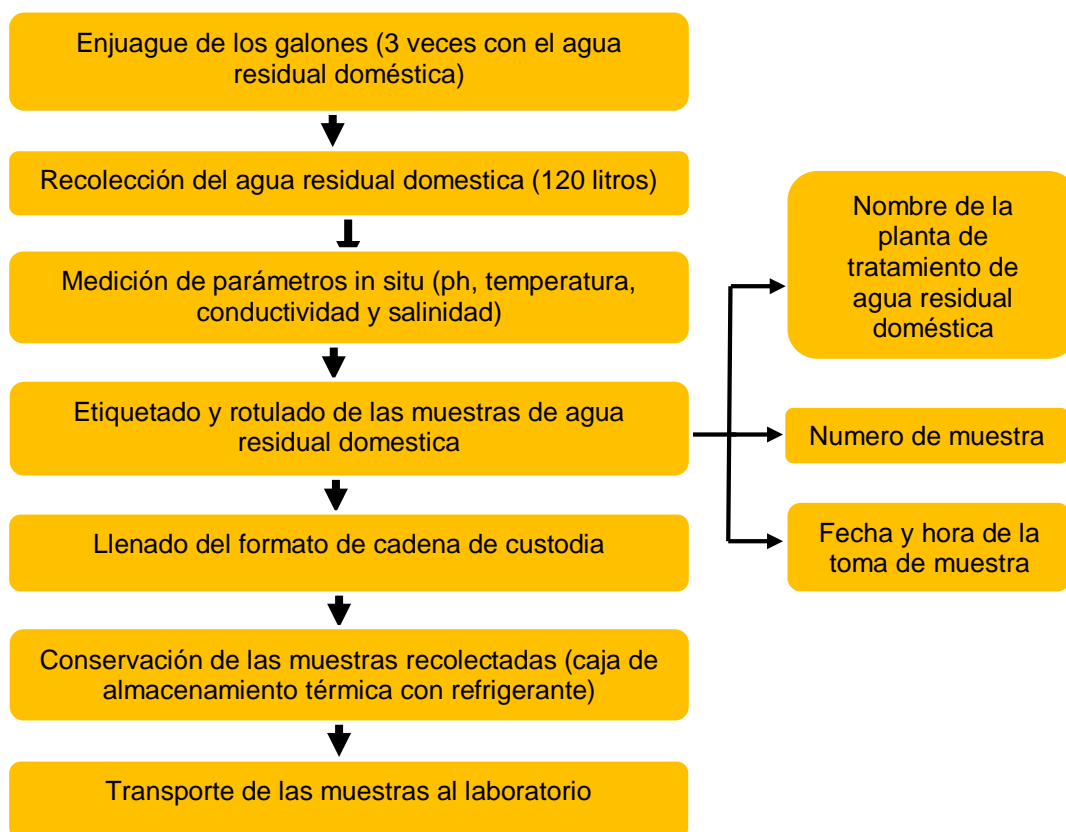
### **3.3.2.3. Procedimiento en campo para el muestreo de aguas**

#### **3.3.2.3.1. Metodología del muestreo de agua para análisis pre y post tratamiento en laboratorio**

La muestra de agua residual doméstica representativa fue la perteneciente al afluente del canal de Parshall de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

### 3.3.2.3.2. Toma de muestras de agua residual para la adición de los coagulantes – floculantes en el laboratorio.

Considerando la RM N° 273-2013-VIVIENDA: Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR, se realizó lo indicado en la figura 11:



**Figura 11.** Procedimiento de la toma de muestras del agua residual

### 3.3.2.4. Tratamiento con coagulantes – floculantes

#### 3.3.2.4.1. Determinación de la dosis de coagulante

En el caso de la moringa se probaron tres tratamientos consistentes en tres concentraciones de polvo de moringa, disolviéndose 2 gr. de polvo de Moringa en 100 ml de agua destilada. Los tratamientos que se utilizaron fueron:

- DM1 = 8 ml. de solución al 2%.
- DM2= 10 ml de solución al 2%.
- DM3 = 12 ml de solución al 2%.

En el caso de la Tuna se probaron tres tratamientos consistentes en tres concentraciones de mucilago de Tuna. Para la tuna se probaron las siguientes mezclas de mucílago, se añadió 369.8 gr de tuna en 500 ml de agua potable. Los tratamientos que se utilizaron fueron:

- DT1= 20 ml de solución.
- DT2= 22 ml de solución.
- DT3= 24 ml de solución.
- Equipo que se utilizó: Equipo de Prueba de Jarras, con 6 vasos de 2 litros c/u.
- Insumos: coagulante-floculante: Polvo de moringa y mucílago de tuna.
- Parámetros a medir: sólidos totales en suspensión, temperatura, pH, demanda bioquímica de oxígeno, conductividad, turbidez, solidos totales disueltos, oxígeno disuelto y salinidad.
- Concentración del coagulante-floculante: Solución al 2%
- Muestra a utilizar: Agua residual doméstica
- Características iniciales del agua residual: pH, sólidos totales suspendidos, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno.

### 3.3.2.4.2. Equipo de Prueba de Jarras

**Tabla 9.** Valores fijados en el agitador múltiple

Parámetro	Velocidad	Tiempo
Agitación rápida	350 rpm	5 s
Agitación lenta	40 rpm	20 min
Sedimentación	0 rpm	30 min

RPM: Revoluciones por minuto

### 3.3.2.4.3. Metodología del ensayo

- Se llenó los vasos con la muestra de agua.
- Se homogenizó la muestra.
- Se aplicó en cada vaso diferentes cantidades de solución de coagulante (2gr de polvo de moringa /100 ml de agua destilada).
- Se aplicó en cada vaso diferentes cantidades de mucilago de coagulante.
- Se puso en funcionamiento el equipo.
- Se anotó el tiempo de sedimentación de la muestra.
- Culminado el ensayo, se analizó los parámetros mencionados anteriormente, en cada vaso.

### 3.3.2.5. Técnicas e Instrumentos para recolección de datos

#### 3.3.2.5.1. Técnicas

Se empleó la técnica experimental ya que se desarrolló un experimento a escala de laboratorio, el cual nos permitió obtener información del comportamiento de la muestra al entrar en contacto con los coagulantes-floculantes, teniendo como finalidad responder a las preguntas formuladas en la presente tesis.

### 3.3.2.5.2. Instrumentos

En cuanto a la recolección de datos, se utilizaron fichas de observación donde se pudo detallar los datos obtenidos de las muestras del agua residual al entrar en contacto con los coagulantes – floculantes. La constituyeron los datos de turbidez, temperatura, pH, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos totales en suspensión obtenidos mediante pruebas de jarra, realizadas en el Laboratorio de Aguas Residuales de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Coronel Portillo.

**Tabla 10.** Materiales de campo, biológicos y de laboratorio

<b>Materiales de campo</b>	
Fichas de registro de campo	Cinta adhesiva
Frascos de vidrio	pH-metro
Guantes de látex descartables	Caja térmica
Mascarilla descartable	Hielo u otro refrigerante
Mandil	Reloj
Zapatos de seguridad	Cámara fotográfica
Etiquetas	Plumón indeleble
<b>Material de origen biológico y reactivo</b>	
Cladodio de Tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> )	Endospermo de las semillas de <i>Moringa oleífera lam</i>
Alcohol etílico 96%	Hexano
Agua destilada	Alcohol yodado
<b>Materiales y equipos de laboratorio</b>	
Matraz	Embudos de Vidrio cónico
Soporte Metálico	Vasos de precipitados
Mortero	Probeta graduada de 1L
Tamiz Tyler	Frasco de vidrio
Pipeta	Tubos de ensayo
Cuchillo	Tela filtro
Mufla	Balanza analítica
Equipo de prueba de jarras	Turbidímetro
<b>Equipo y materiales de gabinete</b>	
Útiles de escritorio	Laptop
Papel bond A4	USB
Impresora	

### **3.4. Procesamiento para la recolección de datos**

Con los datos obtenidos en los experimentos se confeccionó una base de datos en Excel y otra en Word para luego elaborar cuadros y gráficos de acuerdo a lo que se vio necesario para explicar los objetivos trazados.

### **3.5. Tratamiento de datos**

Los datos obtenidos en cada uno de las variables evaluadas fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando un programa estadístico de libre disponibilidad, si resultaron significativos se realizó la prueba de Tukey.

#### **3.5.1. Método Estadístico**

El método de análisis de datos se realizó en base a un Análisis de Varianza (ANOVA). Para el procesamiento de datos una vez obtenidos fueron analizados e interpretados mediante el programa estadístico IBM SPSS Statistics.

La base de cálculo de varianza ANOVA es el análisis de resultados experimentales, en los que convenga comparar los resultados finales del tratamiento, respecto a la variable dependiente, donde se utilizó el nivel de significancia para la prueba de hipótesis,  $\alpha = 0.05$ , aplicándose el test de Tukey.

#### **3.5.2. Diseño Experimental**

Para la presente investigación se utilizó el diseño experimental Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos y cuatro repeticiones por cada coagulante. Se trabajó con factores por separado la variable de entrada Moringa con tres tratamientos (8 ml, 10 ml, 12 ml) y la variable de

entrada Tuna con tres tratamientos (20 ml, 22 ml, 24 ml) y segundo representado por cuatro repeticiones para los diferentes tratamientos de las variables de entrada. De tal manera se estudió el efecto independiente que cada variable produce en el dependiente; la cuales se pueden observar en la Tabla 11 y 12.

**Tabla 11.** Diseño experimental del tratamiento con coagulante - floculante Moringa

<b>COAGULANTE - FLOCULANTE MORINGA</b>				
<b>Repeticiones</b>				
	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>R<sub>4</sub></b>
<b>DM<sub>1</sub></b>	DM <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	DM <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	DM <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	DM <sub>1</sub> R <sub>4</sub>
<b>DM<sub>2</sub></b>	DM <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	DM <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	DM <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	DM <sub>2</sub> R <sub>4</sub>
<b>DM<sub>3</sub></b>	DM <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	DM <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	DM <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	DM <sub>3</sub> R <sub>4</sub>
<b>Total de combinaciones</b>	<b>12</b>			

(DM: Dosis de Moringa; R: Repetición).

**Tabla 12.** Diseño experimental del tratamiento con coagulante - floculante Tuna (*Opuntia ficus indica*)

<b>COAGULANTE - FLOCULANTE TUNA</b>				
<b>Repeticiones</b>				
	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>R<sub>4</sub></b>
<b>DT<sub>1</sub></b>	DT <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	DT <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	DT <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	DT <sub>1</sub> R <sub>4</sub>
<b>DT<sub>2</sub></b>	DT <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	DT <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	DT <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	DT <sub>2</sub> R <sub>4</sub>
<b>DT<sub>3</sub></b>	DT <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	DT <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	DT <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	DT <sub>3</sub> R <sub>4</sub>
<b>Total de combinaciones</b>	<b>12</b>			

(DT: Dosis de Tuna; R: Repetición).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previamente a la presentación de los resultados es conveniente precisar que en la Tabla 13 se detalla los resultados iniciales de los parámetros del agua residual doméstica obtenida de la PTAR.

**Tabla 13.** Características fisicoquímicas del agua residual cruda proveniente de la PTAR

Parámetro	Unidad	Resultado	LMP
Temperatura (T°)	°C	30.1	<35
Sólidos Totales en Suspensión (STS)	mg/L	149	150
Turbidez (NTU)	NTU	164	-
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/L	464	-
Potencial de Hidrogeno (pH)	unidades	7.74	6.5-8.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	64.62	100
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	0.67	-
Conductividad	uS/cm	1037	-
Salinidad	%	0.46	-

De la tabla 13 se observa los resultados iniciales del agua residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Sector 9, distrito de Manantay, comparados con los límites máximos permisibles de acuerdo al D.S. N° 003-2010-MINAM presente en la tabla 6, referente a los parámetros de T, DBO5, SST, pH. Resultando con datos iniciales aceptables, en las cuales se puede ejecutar el tratamiento de coagulación – floculación ya que los datos se encuentran dentro del rango establecido.

#### 4.1. Resultados de las pruebas del coagulante – floculante de semillas de *Moringa oleífera* en polvo

Se realizó inicialmente la Prueba de Jarras, considerando el rango de 8 – 12 mL/L según los casos de estudios revisados.

**Tabla 14.** Resultados de las pruebas de *Moringa oleifera lam*

Pruebas	Repeticiones	Volumen agua (ml)	T (°C)	STS (mg/L)	Turbidez (NTU)	STD (mg/L)	pH (unidad)	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	Conductividad (uS/cm)	Salinidad (%)
8	R1	2000	30.8	53.9	47.9	466	7.78	57.4	0.15	1070	0.47
	R2	2000	28	41.4	39.8	459	7.79	54.5	0.13	991	0.46
	R3	2000	29.2	38.2	39.4	463	7.79	54.9	0.12	1022	0.46
	R4	2000	28.9	36.5	35.5	453	7.73	54.12	0.04	980	0.45
10	R1	2000	31.6	52.5	49.4	463	8.2	56.1	0.08	1071	0.43
	R2	2000	28.5	39.1	36.2	457	7.75	57.8	0.08	997	0.46
	R3	2000	29.8	38.5	38.1	463	7.77	54.81	0.07	1033	0.46
	R4	2000	28.1	39.4	34.4	453	7.72	58.32	0.1	981	0.45
12	R1	2000	31.4	52.1	48.5	468	8.4	62	0.09	1067	0.47
	R2	2000	28.6	40.1	38	455	7.77	56.4	0.14	994	0.45
	R3	2000	30	37	41.6	462	8.1	61.2	0.06	1037	0.46
	R4	2000	28.1	42.5	45.2	411	8	65.18	0.1	992	0.41

T: Temperatura, STS: Sólidos totales en suspensión, STD: Sólidos totales disueltos, pH: Potencial de hidrógeno, DBO: Demanda bioquímica de oxígeno, OD: Oxígeno disuelto.

De acuerdo a la tabla 14 se presentan los tres (03) tratamientos de *Moringa oleífera* cuyas dosis consideradas fueron 8, 10 y 12 ml/L, en las que por cada dosis se realizó cuatro (04) repeticiones, considerando un tiempo de mezcla rápida de 350 RPM por 5 segundos, mezcla lenta de 40 RPM por 20 minutos y tiempo de sedimentación de 30 minutos.

Asimismo, en la tabla 14 de los resultados de las pruebas de *Moringa oleífera*, se observa la variación considerable que se obtuvo en los parámetros evaluados, lo que indica que se afirma la formulación del problema general y Específico; por tanto, se demuestra que el polvo obtenido del endospermo de la *Moringa (Moringa oleífera lam)* tiene efecto coagulante - floculante en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

**4.1.1. Análisis de varianza de un factor, dosis (8, 10 y 12 mililitros) con cuatro repeticiones por tratamiento**

**Tabla 15.** Sólidos Totales en Suspensión

ANOVA					
STS removido					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	14,235	2	7,117	,132	,878
Dentro de grupos	484,888	9	53,876		
Total	499,123	11			

De la tabla 15, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,878 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de sólidos totales en suspensión (STS) es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 16.** Turbidez (NTU)

ANOVA					
Turbidez removida					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	30,482	2	15,241	,490	,628
Dentro de grupos	279,865	9	31,096		
Total	310,347	11			

De la tabla 16, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,628 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de la turbidez es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 17.** Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

ANOVA					
DBO removida					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	76,808	2	38,404	6,418	,019
Dentro de grupos	53,856	9	5,984		
Total	130,664	11			

De la tabla 17, se observa que P valor es menor al nivel de significancia elegido ( $0,019 < 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de DBO es dependiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que si existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 18.** Potencial de Hidrógeno (pH)

ANOVA					
pH removida					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,184	2	,092	2,279	,158
Dentro de grupos	,363	9	,040		
Total	,546	11			

De la tabla 18, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,158 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción del potencial de hidrógeno (pH) es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 19.** Oxígeno Disuelto (OD)

ANOVA					
OD removida	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,002	2	,001	,635	,552
Dentro de grupos	,011	9	,001		
Total	,012	11			

De la tabla 19, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,552 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción del oxígeno disuelto (OD) es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 20.** Sólidos Totales Disueltos (STD)

ANOVA					
STD removido	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	304,167	2	152,083	,629	,555
Dentro de grupos	2176,750	9	241,861		
Total	2480,917	11			

De la tabla 20, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,555 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de sólidos totales disueltos (STD) es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 21.** Conductividad

ANOVA					
Conductividad removida					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	96,167	2	48,083	,032	,969
Dentro de grupos	13624,750	9	1513,861		
Total	13720,917	11			

De la tabla 21, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,969 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de conductividad es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 22.** Salinidad

ANOVA					
Salinidad removida					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,149	2	,074	,884	,446
Dentro de grupos	,758	9	,084		
Total	,907	11			

De la tabla 22, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,446 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de salinidad es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

#### 4.2. Resultados de las pruebas del coagulante – floculante del Cladodio de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en mucílago

**Tabla 23.** Resultados de las pruebas del Cladodio de Tuna

Pruebas	Repeticiones	Volumen agua (ml)	T (°C)	STS (mg/L)	Turbidez (NTU)	STD (mg/L)	pH (unidad)	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	Conductividad (uS/cm)	Salinidad (%)
20	R1	2000	24.5	88.4	84.1	495	6.54	49.5	0.15	995	0.49
	R2	2000	26.1	110	128	511	6.78	58.42	0.13	1060	0.51
	R3	2000	26.6	106	115	508	6.59	51.26	0.13	1045	0.51
	R4	2000	25.7	99.2	115	507	6.67	51.2	0.1	1043	0.51
22	R1	2000	25	83.6	85.4	500	6.62	50.18	0.14	1015	0.5
	R2	2000	26	107	132	513	6.9	57.48	0.09	1063	0.51
	R3	2000	26.1	112	124	515	7.02	52.13	0.09	1069	0.52
	R4	2000	26	97.2	115	511	6.69	50.9	0.08	1059	0.51
24	R1	2000	25	84.7	83.2	501	6.69	52.31	0.13	1017	0.5
	R2	2000	26.1	111	129	517	6.87	56.74	0.09	1072	0.52
	R3	2000	26.2	107	124	517	6.98	50.12	0.09	1074	0.52
	R4	2000	26	105	111	515	6.82	49.87	0.07	1060	0.52

T: Temperatura, STS: Sólidos totales en suspensión, STD: Sólidos totales disueltos, pH: Potencial de hidrógeno, DBO: Demanda bioquímica de oxígeno, OD: Oxígeno disuelto.

En la tabla 23 se presentan los tres (03) tratamientos de Tuna (*Opuntia ficus indica*) cuyas dosis consideradas fueron 20, 22 y 24 ml/L, en las que por cada dosis se realizó cuatro (04) repeticiones, considerando un tiempo de mezcla rápida de 350 RPM por 5 segundos, mezcla lenta de 40 RPM por 20 minutos y tiempo de sedimentación de 30 minutos.

Asimismo, en la tabla 23 de los resultados de las pruebas del Cladodio de Tuna, se observa la variación considerable que se obtuvo en los parámetros evaluados, lo que indica que se afirma la formulación del problema general y Específico; por tanto, se demuestra que el mucilago obtenido del Cladodio de Tuna (*Opuntia ficus indica*) tiene efecto coagulante - floculante en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

#### **4.2.1. Análisis de varianza de un factor, dosis (20, 22 y 24 mililitros) con cuatro repeticiones por tratamiento**

**Tabla 24.** Sólidos Totales Suspendidos (STS)

<b>ANOVA</b>					
Remoción de STS	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7,805	2	3,902	,030	,970
Dentro de grupos	1152,018	9	128,002		
Total	1159,823	11			

De la tabla 24, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,970 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de sólidos totales en suspensión (STS) es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 25.** Turbidez (NTU)

ANOVA					
Remoción de Turbidez					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	26,262	2	13,131	,033	,967
Dentro de grupos	3549,907	9	394,434		
Total	3576,169	11			

De la tabla 25, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,967 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de la turbidez es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 26.** Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

ANOVA					
Remoción de DBO					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,385	2	,192	,016	,984
Dentro de grupos	110,363	9	12,263		
Total	110,748	11			

De la tabla 26, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,984 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de DBO es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 27.** Potencial de Hidrógeno (pH)

ANOVA					
Remoción de pH					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,087	2	,044	2,195	,167
Dentro de grupos	,179	9	,020		
Total	,266	11			

De la tabla 27, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,167 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción del potencial de hidrógeno (pH) es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 28.** Oxígeno Disuelto (OD)

ANOVA					
Remoción de OD					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,002	2	,001	2,051	,185
Dentro de grupos	,005	9	,001		
Total	,008	11			

De la tabla 28, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,185 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción del oxígeno disuelto (OD) es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 29.** Sólidos Totales Disueltos

ANOVA					
Remoción de STD					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	107,167	2	53,583	1,043	,391
Dentro de grupos	462,500	9	51,389		
Total	569,667	11			

De la tabla 29, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,391 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de sólidos totales disueltos (STD) es independiente del tratamiento que se aplique;

por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 30.** Conductividad

ANOVA					
Remoción de Conductividad					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	888,167	2	444,083	,631	,554
Dentro de grupos	6330,500	9	703,389		
Total	7218,667	11			

De la tabla 30, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,554 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de conductividad es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

**Tabla 31.** Salinidad

ANOVA					
Remoción de Salinidad					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,000	2	,000	1,125	,366
Dentro de grupos	,001	9	,000		
Total	,001	11			

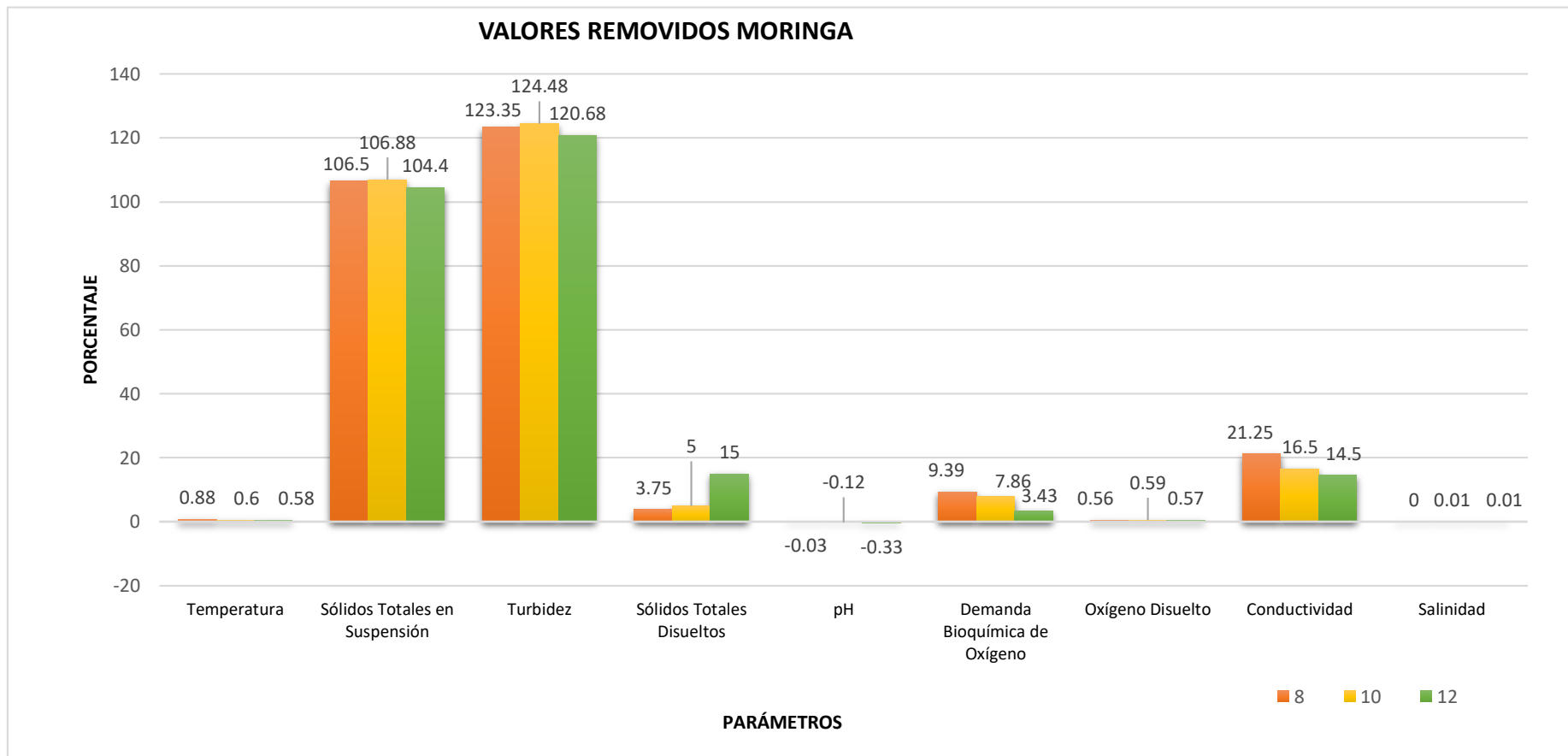
De la tabla 31, se observa que P valor es superior al nivel de significancia elegido ( $0,366 > 0.05$ ), lo cual indica que la remoción de salinidad es independiente del tratamiento que se aplique; por lo cual, se deduce que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

#### 4.2.2. Variación de los parámetros por efecto de los coagulantes-floculantes.

**Tabla 32.** Variación de los parámetros por efecto de los coagulantes-floculantes

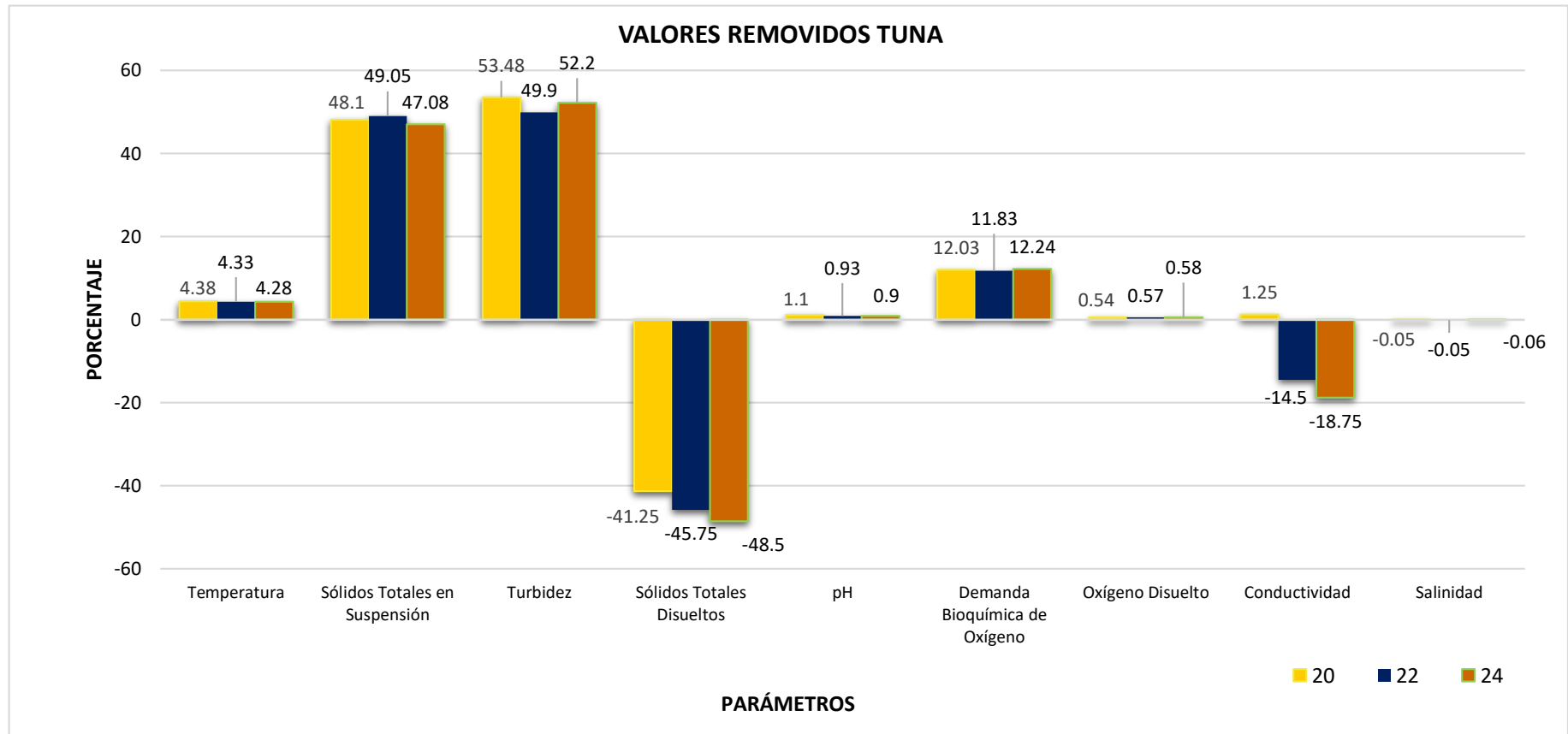
Parámetros	Variación de los parámetros por efecto de los coagulantes-floculantes							
	Unidad	Resultados iniciales	Moringa			Tuna		
			8	10	12	20	22	24
Temperatura	°C	30.1	0.88	0.60	0.58	4.38	4.33	4.28
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	149	106.50	106.88	104.40	48.10	49.05	47.08
Turbidez	NTU	164	123.35	124.48	120.68	53.48	49.90	52.20
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	464	3.75	5.00	15.00	-41.25	-45.75	-48.50
pH	Unidad	7.74	-0.03	-0.12	-0.33	1.10	0.93	0.90
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	64.62	9.39	7.86	3.43	12.03	11.83	12.24
Oxígeno Disuelto	mg/L	0.67	0.56	0.59	0.57	0.54	0.57	0.58
Conductividad	uS/cm	1037	21.25	16.50	14.50	1.25	-14.50	-18.75
Salinidad	%	0.46	0	0.01	0.01	-0.05	-0.05	-0.06

De la Tabla 32 se constato lo siguiente: **Sólidos Totales en Suspensión:** Los datos obtenidos con *Moringa oleífera lam* indican una notable disminución de sólidos totales en suspensión en los tres tratamientos, sin embargo, con el tratamiento 2 (denominado en adelante T2) de 10 ml/L fue el más eficiente con una reducción de 106.88 mg/L, indicando un resultado aceptable. **Turbidez:** Respecto a la concentración se pudo inferir que la turbidez más baja se obtiene con la *Moringa oleífera lam*, se aplicó el T2 de 10 ml/L con una remoción de turbidez de 124.48 NTU. **Sólidos Totales Disueltos:** En el tratamiento 3 (denominado en adelante T3) de 12 ml/L con *Moringa oleífera lam* se obtuvo un valor removido de 15 mg/L, mientras que con el uso de la *Opuntia ficus indica* aumentaron los niveles en sus tres tratamientos, siendo el T3 donde alcanzó un valor adicional de 48.50 mg/L. **DBO5:** Como se observa en la Tabla 32, la DBO disminuye utilizando los dos coagulantes - floculantes, siendo evidente un efecto mayor con mucilago de *Opuntia ficus indica*, al usar el polvo de *Moringa oleífera lam*, los tratamientos presentan diferencias estadísticamente significativas, el cual fue corroborado por el análisis de varianza (Tabla 17); la prueba Post Hoc de Tukey (Tabla 33) muestra que T1 8ml/L y T3 12 ml/L difieren entre sí, pero teniendo en cuenta la disminución del DBO, el tratamiento T1 8ml/L fue el que tuvo mayor efecto, porque obtuvo el valor removido de 9,39 mg/L.



**Figura 12.** Valores removidos Moringa

En la Figura 12, se observa gráficamente los valores removidos de los parámetros en relación al coagulante-floculante Moringa oleífera lam, en los tres tipos de tratamiento (8, 10 y 12 ml) respectivamente



**Figura 13.** Valores removidos Tuna

En la Figura 13, se observa gráficamente los valores removidos de los parámetros en relación al coagulante-floculante *Opuntia ficus indica*, en los tres tipos de tratamiento (20, 22 y 24 ml) respectivamente.

### 4.3. Discusión

Para este trabajo se realizó la evaluación de dos coagulantes, Moringa y Tuna, la cual como ya se demostró en los resultados tienen efecto coagulante – floculante en el tratamiento de aguas residuales domésticas, las cuales también son recursos bióticos, nobles con la salud humana y el ambiente.

En cuanto al agua residual de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Sector 9, distrito de Manantay presenta predisposición para un buen tratamiento de coagulación-floculación, ya que sus niveles de pH se encuentran dentro del rango adecuado para el proceso, siendo este de pH 7.74; el cual beneficiaría al proceso de coagulación-floculación como lo indica Lozano (2012) en su artículo, en el que asegura que el pH que esté en el rango de 7-8 serían los más adecuados para el proceso.

En cuanto a los análisis de datos realizados con las pruebas de homogeneidad de varianzas y prueba de normalidad los datos obtenidos tienen una distribución normal y homogénea, esto nos indica que, si realizamos una prueba ANOVA a los parámetros  $> 0,05$  podemos observar que cualquier dosis se encuentra en el mismo grupo homogéneo; así también, cualquiera de las 03 dosis de floculante natural de moringa y de tuna puede ser empleadas en el tratamiento de agua residual y se obtendrían estadísticamente la misma remoción para el agua residual doméstica empleando dosis de 8, 10 y 12 ml para la moringa y de 20, 22 y 24 ml para la tuna respectivamente.

Dentro de la prueba de Moringa oleífera lam, el análisis estadístico ANOVA demostró que el parámetro DBO tiene un valor de significancia de

(Sig=0,019<0.05), esto nos indica que para el factor dosis de la variable este influye en la remoción de DBO del agua residual tratada, como el ANOVA dio datos significativos para la dosis de floculante moringa, se procedió a realizar la prueba post hoc de Tukey para este factor como se muestra en la tabla 33, la cual nos permite confirmar que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio (8 ml y 12 ml) pues se muestran dos subconjuntos diferentes.

**Tabla 33.** Prueba de Post Hoc de Tukey

DBO removida			
HSD Tukey <sup>a</sup>			
Volumen de coagulante	N	1	2
12 mililitros	4	2,8050	
10 mililitros	4	7,2425	7,2425
8 mililitros	4		8,7700
Sig.		,071	,664
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.			
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.			

En cuanto a las pruebas de la Demanda Bioquímica del Oxígeno DBO5 se puede ver diferencias, producto de la aplicación del coagulante de *Moringa oleífera lam* en la muestra tomada, denotando un valor de remoción de 9.39 mg/L, en la cual se observa una disminución aceptable coincidiendo con lo especificado con Ndibewu et al., (2011) alegando que las semillas de *Moringa oleífera lam* exhiben eficiencia tanto en la eliminación de turbidez, demanda biológica de oxígeno DBO5 presentes y provenientes del agua residual. La capacidad de coagulación y floculación, confirma el gran potencial de las semillas de *Moringa oleífera lam* en aplicaciones de tratamiento de aguas residuales.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia. (Ramalho, 2003)

De acuerdo con García (2007), las ventajas de utilizar las semillas de Moringa en el tratamiento de aguas es que, en primer término, los lodos residuales que se generan son biodegradables, la composición de los flóculos que contienen Moringa podrían aportar nutrientes adicionales a los sustratos para uso agrícola como abono, sin embargo y aunque ya no fue objeto de esta investigación, sería recomendable realizar análisis físicos y químicos de los lodos residuales del agua del estanque para corroborar este supuesto, lo cual, aunque en pequeña escala, podría contribuir a mejorar la eficiencia de determinados cultivos dentro de la zona de aplicación, derivado del incremento de nutrientes.

Tras una revisión bibliografía se puede observar que autores como (Tumbaco y Acebo, 2018), atribuyen tal efecto de remoción de DBO5 a la carga positiva de la proteína, puesto que, logra atraer las partículas con carga negativa formando flóculos en forma de red que permiten visualizar la disminución de parámetros, como se confirmó en las pruebas de laboratorio.

Las semillas de moringa contiene cantidades significativas de proteínas solubles de bajo peso molecular, éstas 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)

Los extractos de semillas de paraíso blanco (*Moringa oleífera lam*), tienen un efecto fungicida sobre el crecimiento micelial y la germinación de esporas de *R. stolonifer* (Velázquez et al., 2005); coincidiendo con lo especificado por Nepolean et al., (2009) la cual afirma que la moringa contiene Pterygospermin (originalmente encontrada en *Moringa pterygosperma*), que tiene potentes efectos antibacterianos y fungicidas; siendo esto uno de los principales factores por la cual se obtuvo una variación significativa en el parametro DBO por efecto del coagulante moringa.

De igual modo se denota una remoción de solidos totales suspendidos en un 106.88 mg/l (71.73%) al aplicar el tratamiento con *Moringa oleífera lam* y de 49.05 mg/l (32.92%) al aplicar el tratamiento con *Opuntia ficus indica* coincidiendo con lo especificado por Contreras, et al., (2015) alegando que al aplicar el tratamiento con dichos coagulantes – floculantes puede reducir los sólidos totales suspendidos hasta en un 80% como máximo y un 30% como mínimo; sin embargo Olivero, et al (2014) alega que la reducción de los sólidos totales suspendidos se verá hasta en un 83.66% al usar este tratamiento, por lo que se denota que el tratamiento de *Moringa oleífera lam* reduce mejor los sólidos totales suspendidos.

Por otro lado en cuanto al parámetro de Turbidez también se puede ver diferencias, producto de la aplicación del Coagulante de *Moringa oleífera lam* en la muestra tomada del antes y después del tratamiento, que

denota una remoción de 124.48 NTU de Turbidez, conjuntamente con el coagulante de *Opuntia ficus indica* que obtuvo una remoción de 53.48 NTU, representando una disminución sustancial que permite reafirmar que los productos de la muestra tratada han disminuido la turbidez en las aguas residuales. Estos resultados de la remoción y otros parámetros denotan la eficiencia de la *Opuntia ficus indica* y de la *Moringa oleifera lam* como coagulante, así como menciona Gonzáles et al,(2015) en su investigación titulada: "*Opuntia ficus indica* y *Opuntia wentiana*: estudio comparativo sobre su efectividad como coagulantes en la clarificación del agua", que los resultados obtenidos indican que la *Opuntia ficus indica* (cruda) es más eficiente en la remoción de la turbidez y en la clarificación del agua y representa una alternativa viable para su aplicación a gran escala.

Según Jaimes (2016) en su investigación "Eficiencia del Coagulante Natural *Opuntia ficus indica*", durante la prueba de jarras se logró una eficiencia de remoción de turbidez del 95%, de Sólidos Suspendidos Totales 57%, de igual modo los resultados obtenidos en el presente trabajo con el parámetro Turbidez fue de 53.48 NTU (32.61%) y SST 49.05 mg/l (32.92%) denotando una disminución aceptable.

Pocas especies vegetales tienen la versatilidad de transformación que ofrecen los cactus para el consumo humano. Sin embargo, sus posibilidades industriales son muchas, lo que hace aún más interesante su cultivo y explotación. (Sáenz, 2006)

Al contrastar los resultados obtenidos con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el agua residual tratada, se evidencia que la muestra de agua tratada con

el polvo de Moringa y el mucilago de Tuna cumplen con los límites máximos permisible con los parámetros Temperatura ( $T^{\circ}$ ), solidos totales en suspensión (STS), potencial de hidrogeno (pH) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), según lo establecido en dicha norma. Lo que demuestra que el uso del polvo de moringa y el mucilago de Tuna tienen efecto coagulante – floculante en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas, cumpliendo con los estándares de calidad establecidos en la legislación peruana; de esta manera el uso del polvo de moringa obtenido del endospermo de Moringa y el mucilago obtenido del cladodio de Tuna representa una solución alterna en el tratamiento de agua residual doméstica.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

1. Se demostró que el polvo obtenido de endospermo de la Moringa (*Moringa oleífera lam*) y el mucilago obtenido del cladodio de Tuna (*Opuntia ficus indica*) tienen efecto coagulante – floculante para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas, lo cual permiten que en la región y/o regiones se apliquen para mejorar las condiciones de estas aguas residuales.
2. Los dos coagulantes naturales tuvieron resultados positivos al aplicarse en el agua residual, ya que presentan efectivos niveles de reducción de los parámetros, sin embargo; el coagulante Moringa obtuvo mejores resultados; ya que dentro del análisis estadístico del agua tratada con este coagulante, el parámetro DBO fue el que obtuvo significancia  $< 0.05$ .
3. En el análisis estadístico ANOVA, se determinó que en la prueba del coagulante Moringa, el parámetro con significancia  $< 0.05$ , es la del DBO, indicando que para el factor dosis este influye en la remoción de DBO del agua residual tratada, permitiendo así confirmar que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio; para el resto de parámetros de *Moringa oleífera lam* y del *Opuntia ficus indica*, se determina que superan el  $>0.05$  de significancia, en la cual nos indica que no tienen ninguna influencia del factor dosis en la remoción de los parámetros establecidos, ya que cualquier dosis y/o concentración en estudio va tener el mismo resultado.

## **5.2. Recomendaciones**

1. Realizar un análisis del efecto de la semilla de Moringa tamizada en distintas granulometrías, de tal manera conocer cómo influye el tamaño de la partícula en la coagulación.
2. Se sugiere que, en futuras investigaciones se tenga en cuenta el tiempo de reposo de la muestra, puesto que este indicador varía entre minutos y horas; asimismo considerar la velocidad de agitación entre rápida y lenta para encontrar mejor resultados.
3. Estudiar otras alternativas naturales para la coagulación-floculación en el tratamiento de aguas residuales que no afecten la salud humana y el ambiente con el propósito de reducir el consumo de reactivos químicos y/o sintéticos
4. Extender los estudios expuestos en estas tesis para poder determinar la dosis óptima del coagulante.
5. Realizar experimentos para aprovechar el aceite de moringa oleífera después del proceso de extracción de aceite (método Soxhlet) para la fabricación de jabones, cosméticos, entre otros.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abidin, Z.Z., Mohd Shamsudin, N.S., Madehi, N., Sobri, S. (2013). Optimisation of a method to extract the active coagulant agent from *Jatropha curcas* seeds for use in turbidity removal. *Ind. Crop. Prod.* 41 (1), 319–323.
- Abramovich, B., Lura, M., Carrea, E., M., G., Haye, M., & Vaira, S. (2004). Acción de distintos coagulantes para la eliminación de *Cryptosporidium* spp. En el proceso de potabilización del agua. *Revista argentina de microbiología*, 97- 105.
- Acosta, L. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 14-15.
- Agüero-Reyes, A., Rivera-Aguirre, R., & Hernández, H. (2005). Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-índica*. *Investigación de zonas desérticas*, 200.
- 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.
- Alcaraz Amorós Yves. (2017). Análisis y control de aguas en torres de refrigeración y planta de tratamiento de aguas residuales, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA.
- Almendárez, N. 2004. Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules". *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 5(1): 46-54.
- Amuda, O.S., and Alade, A. 2006. Coagulation/Flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. *Desalination*, 196: 22 –31.
- Andia, Y. (2000) Tratamiento de agua coagulación y floculación. SEDAPAL, Lima.
- Arnoldsson E., Bergman M., Matshine N., Persson M.K. (2008). Assessment of drinking water treatment using *Moringa Oleífera* natural coagulant. *Vatten* 64:137-150.

- Antov, M., Šćiban, M., Petrović, N. (2010). Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for water turbidity removal. *Bioresour. Technol.*, 100 pp. 2167–2172.
- Aquino Espinoza Pavel. (2017). *Calidad del Agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales. Resumen Ejecutivo.* Lima: DAR, 30 pp.
- Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A.N.M., Alamgir Hossain, M., (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiol.*
- Barba, L.E. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición.* Universidad del Valle, Cali.
- Barrenechea, P. (1983). *Nopal y agaves como recurso de zonas áridas y semiáridas de México en recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México.* Chapingo, Mexico.
- Braatz S. y A. Kandiah. (2004). Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/w0312S/w0312s09.htm>. 15.05.2011.
- Buttice, A. L., Stroot, J. M., Lim, D. V., Stroot, P. G., & Alcantar, N. A. (2010). Removal of Sediments and Bacteria from Water Using Green Chemistry. *Environmental Science & Technology*, 3514-3519.
- Campos Gómez, Irene. *Saneamiento Ambiental.* Universidad estatal a distancia, San José (Costa Rica). 2000.
- Castro.J.F., Silva F.J.A. (2004). Moringa Oleífera na Melhoria da Qualidade de Efluentes de UASB e de Lagoa de Maduração-Remoção de Color e Turbidez. In: XI SILUBESA Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, Natal/RN.
- CONTRERAS, K., AGUAS Y., SALCEDO, G., OLIVERO, R., MENDOZA, G. *El Nopal (Opuntia ficus indica) como coagulante natural complementario*

en la clarificación de agua. Revista Producción + Limpia [online]. 2015. Vol. 10, no. 1, p. 40-50.

Degrémont. Water Treatment Handbook. 1991. 6.<sup>a</sup> edición, vol.1, Francia.

Andrade Mauricio, Camacho Alan, Delgadillo Oscar, Pérez Luis F. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. COCHABAMBA - BOLIVIA.

De Saint Sauveur, A., and Hartout, G. 2001. Moringa culture and economy in Niger. In: The miracle tree. The multiple attributes of Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10 (2009): 523 – 529.

Duke, James, A. (1987). *Moringa oleifera Lam.*; Handbook of Energy Crops. Purdue University.

EMAPACOP S.A. (2015). "Informe técnico: monitoreo de la calidad del efluente de la PTAR (Lagunas de Oxidación), del sector 09, blgo. Eric Mananita Terrones,)

EPA (Environmental Protection Agency). 2000. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. *Humedales de flujo libre superficial*. Washington, D.C.

Espinoza, G. Producción de biomasa en los árboles de *Moringa oleifera Lam.* con fines industriales en Palmaleas cantón Arenillas. Machala - El Oro.: Universidad Técnica de Machala, Octubre 2014.

Fatombi, J.K., Lartiges, B., Aminou, T., Barres, O., Caillet, C., (2013). A natural coagulant protein from copra (*Cocos nucifera*): isolation, characterization, and potential for water purification. *Sep. Purif. Technol.* 116, 35–40.

FERIA D, J.J., BERMUDEZ, R, S., y ESTRADA T, A. M. Eficiencia de la semilla *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Revista Producción más Limpia*, 9 (1), 2014, p. 9-22.

- Flaten, T.P., (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Res. Bull.* 55 (2), 187–196.
- Foidl, N., Makkar, H.P.S., and Becker, K. 2001. The potential of *Moringa olifera* for agricultural and industrial uses. In: *The miracle tree. The multiple attributes of moringa.* L.J. Furglie (Ed). Church World Service, Dakar, Senegal. Pp: 45 – 76.
- Folkard, G., Southerland, J., and Al-Khalili, R.S. 2001. Water clarification using *Moringa oleifera* seed coagulant. In: *The miracle tree. The multiple attributes of moringa.* L.J. Furglie (Ed). Church World Service; Dakar, Senegal. Pp: 29 – 43.
- Garcia, F. B., 2007. Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. 1 ed. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia.
- Gómez, M. (2002), “Evaluación del proceso coagulación-floculación en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa manufacturera de jabones, detergentes, dentífricos y desinfectantes”. Universidad de san Carlos de Guatemala facultad de ingeniería. Guatemala.
- González, C. (2011). La Turbidez. Mayaguez: Servicio de Extension Agrícola.
- Gonzales [et al]. *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia wentianda*: estudio comparativo sobre su efectividad como coagulantes en la clarificación del agua. *Revista tecnocientífica URU*, 9: 81-89, 2015. ISSN: 2343-6360
- Ghebremichael, Gunaratna, Henriksson, Brumer, Dalhammar. (2005). A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *Water Res.*, 39 pp. 2338–2344.
- Gurdián López, Róger Coto Campos, Juana María. Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo en la coagulación floculación de aguas residuales *Tecnología en Marcha*, Vol. 24, N° 2, abril-junio 2011, p. 18-26.
- Gutiérrez Cortez, E., y Rojas Molina, I. (2011). Condiciones de proceso de

extracción de mucílago de nopal deshidratado. Producción de nopal y magüey, 285.

Gutiérrez, S.M.L. y Mera, A.C.F. Evaluación del efecto coagulante y floculante del polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) en el tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos agropecuarios y agroindustriales en el departamento del Cauca [Trabajo de grado Ingeniería Agropecuaria]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2016, 93 p.

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la Turbidez del Agua Usando Coagulantes naturales: Una Revisión. Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica, 253-262.

JAIMES Palacios, Norma. Eficiencia del coagulante natural *Opuntia ficus indica* (L.) Miller con un sistema de filtración para la remoción de parámetros fisicoquímicos y biológicos en el agua residual doméstica del Centro Urbano Hornillos, Áncash 2016. Tesis (Ingeniera Ambiental). Lima-Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2016. 99 pp

Jiménez, J., Vargas, M., & Quirós, N. (2012). Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable. Tecnología en Marcha, 55-62.

Kalogo, Y., M'Bassiguié Séka, A., and Verstraete, W. (2001). Enhancing the start-up of a UASB reactor treating domestic wastewater by adding a water extract of *Moringa oleifera* seeds. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 55: 644 –651.

Kelderman P; Kruis G. (2001). Laboratory Course Aquatic Chemistry and its Applications in Environmental Engineering. International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Holanda.

Lara, J. A\*. y Hernández, A. (2005) Depuración de aguas residuales. 6ta Edición, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, España.

Lozano, William. Uso del extracto de Figue (*Furcraea* sp.) como coadyuvante

de coagulación en tratamiento de lixiviados. *Contaminación Ambiental* [online]. 2012. Vol. 28, no. 3, p. 219-227.

Maldonado, V. (2010). *Sedimentacion*, p.62.

Mannise, R. (25 de septiembre de 2012). *Ecocosas*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2014, de Método centenario y sustentable para purificar agua, el nopal: <http://ecocosas.com/eco-ideas/metodo-centenario-y-sustentable-para-purificar-agua-el-nopal>

Marsilli, A. (2005), *Tratamiento de aguas residuales* [en línea]. Disponible en: <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm> (consultado: 25 de mayo del 2015).

Mendoza I., Fernández, N, Ettiene G., Díaz A. (2000). *Rev. Scientific Journal from the Experimental* Vol. 8(2) p. 235-242.

Meneses, i. D. (2015). *Evaluación de la semilla de moringa oleifera como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del rio bogotá en su paso por el municipio de villapinzón, cundinamarca*. Bogota: unilibre.

METALF & EDDY (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. Tercera Edición, Volumen 1 pagina 97. McGraw-Hill.

Metcalf; Eddy (1979). *inc. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse* 2nd ed. McGraw-Hill International Editions. New York. 1979.

Miller, S. M., Fugate, E. J., Craver, V. O., Smith, J. A., & Zimmerman, J. B. (2008). *Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of Opuntia spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment*. *Environmental Science & Technology*, 1-6.

Mishra A., Yadav A., Agarwal A., Bajpai M. (2004). "Fenugreek mucilage for solid removal from tannery effluent." *Reactive & Functional Polymers* 59, 99-104.

Montgomery, Douglas. *Diseño y Análisis de Experimentos*. México, 2004. Ed. Limusa S.A. Vol. 2, no. 1, p. 685 - 690.

- Morales Avelino, F.D.; Méndez Novelo, R.; Tamayo Dávila, M. (2009). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE RASTRO MEDIANTE SEMILLAS DE *Moringa oleifera* LAM COMO COAGULANTE Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 10, núm. 3, septiembre-diciembre, pp. 523-529 Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México.
- Muyibi, S.A. & Evison, L.M. *Moringa oleifera* seeds for softening hard water. *Water Res.* 29:1099. 1995.
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K.S. and B.G. Talbot (1995). "Active agents and mechanism of coagulant of turbid waters using *Moringa oleifera*" *Water Research* Vol. 29, No. 2, pp. 703-710.
- Ndibewu, P. P., R. L. Mnisi, S. N. Mokgalaka and R. I. McCrindle 2011. Heavy metal removal in aqueous system using *Moringa oleifera*: A review. *Journal of Material Science and Engineering* 1, 843-853.
- Nepolean P., Anitha J., Emilin Renitta R. (2009). Isolation, analysis and identification of phytochemicals of antimicrobial activity of *Moringa oleifera* Lam. *Current Biotica*, 3 (1), 33-39.
- Nogués, E., Castro, O., Correa, R., Puricelli, M., Pérez, H., & Béale, I. (2013). Revalorización del cultivo de la tuna forrajera (*Opuntia ficus-índica*) una alternativa de uso múltiple para las zonas áridas y semiáridas. *Revista de divulgación técnica agrícola y agroindustrial*, 5-11.
- Núñez, P. E., 2007. Validación de la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural para el tratamiento de agua, destinada al consumo humano en Moroceli, Honduras. 1 ed. Moricelí : Zamorano.
- OLIVERO, R., AGUAS, Y., MERCADO, I., CASAS, D., MONTES, L. *Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas*. *Avances Investigación en Ingeniería* [online]. 2014. Vol. 11, no. 1, p. 70-75.
- Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gazabón, L. E. (2013). Remoción de la turbidez del agua del Río Magdalena usando el

- mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*). Producción + Limpia, 19-27.
- Olson M. E., Fahey J. W. (2011). Moringa Oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82:1082.
- Okuda, T.; Baes, A. U.; Nishijima, W. & Okada, M. (2001). Isolation and Characterization of Coagulant Extracted from Moringa oleifera Seed by Salt Solution. *Water Research*, 35(2), 405-410.
- Ospina O, y Ramirez H. 2011. Tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por medio de fitoquímicos” Escuela Colombiana de Ingeniería, 84: 7-17.
- Pacora, Loida, et al. Optimización del floculante natural de la tuna *Opuntia ficus indica* en la clarificación de las aguas superficiales del distrito de Santa Rosa provincia de Pallasca. *Calameo*. 2011.
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y., & Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana*. *Ciencias Exactas, Naturales y Agropecuarias*, 27-33.
- Peña LE, Muñoz M y Espinosa AM (2001) Tratamiento de aguas residuales y su impacto ambiental sobre un ecosistema. *Revista científica* 3:91-112
- Plitt, Laura. (19 de mayo de 2010). Mundo Una Voz Independiente. Recuperado el 28 de Noviembre de 2014, de mexicana purifica el agua con un cactus: [http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia-tecnología/2010/05/100510\\_1500\\_agua\\_purificacion\\_lp.shtml](http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia-tecnología/2010/05/100510_1500_agua_purificacion_lp.shtml)
- Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmondson, A., O'Neill, J.G., Kululanga, G., (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Phys. Chem. Earth Parts A/B/C* 34, 799–805.
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: España, Editorial Reverté, S.A
- Ramírez A. y Jaramillo, P. (2016) en la publicación “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua”, 136-153.

- Renault, B. Sancey, P.M. Badot, G. Crini, Chitosan for coagulation/flocculation processes – an eco-friendly approach, *Eur. Polym. J.* 45 (2009) 1337–1348.
- Revelo, a., proaño, d., banchón, C. Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*. Enfoque [online]. 2015. Vol. 6 no. 1, p. 1-12.
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema. Recuperado de: DeLaLaveSepOct02.pdf.
- Reyes, Sánchez. G, Nadir. Marango cultivo y utilización en la alimentación animal. Serie técnica N° 5. Una, Universidad nacional Agraria Nicaragua. Dirección de investigación, extensión y postgrado (DIEP). 2004.
- Ridwan M. F., Wahidatul A. Z. N., Pang C. P., Nasrul H. (2011). Mechanism of Turbidity and Hardness Removal in Hard Water Sources by using Moringa Oleífera. *Revista de Ciencias Aplicadas*, 11: 2947-295.
- Rigola Lapeña, Miguel. Tratamiento de aguas industriales. Aguas de proceso y residuales, 1990.
- Rodríguez-García M., De Lira C., Hernández-Becerra E., Cornejo-Villegas M., Palacios-Fonseca A., Rojas-Molina I. 2007. Physicochemical Characterization of Nopal Pads (*Opuntia ficus indica*) and Dry Vacuum Nopal Powders as a Function of the Maturation. *Plant Foods Hum Nutrition*. 62: 107-112.
- Rodríguez J, Lugo I, Rojas A, Malaver C. Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral Científico* 2007; No 11: 8 – 16.
- Romero Rojas y Jairo Alberto. Acuíquímica, Escuela Colombiana de Ingeniería, Editorial Presencia, 1ª Edición, Bogotá, Colombia, 1996.

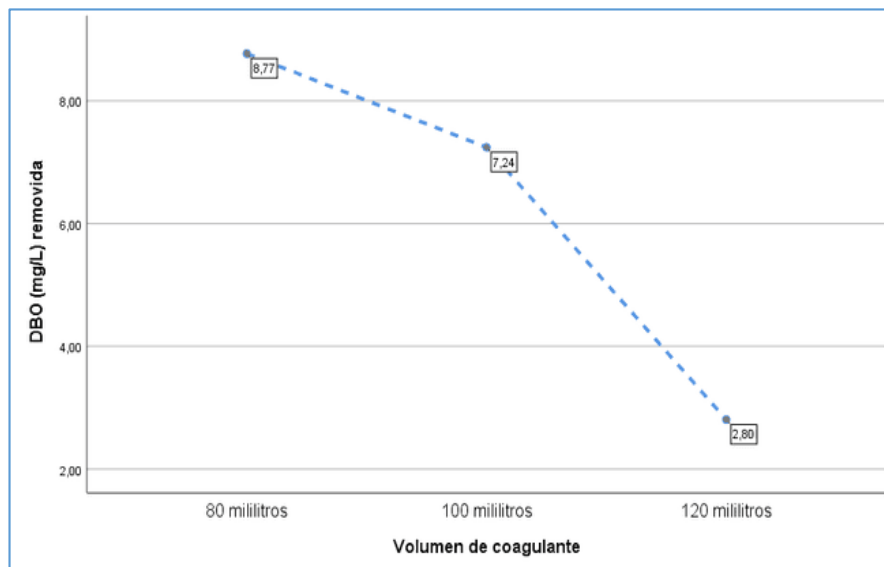
- Sáenz C. (2006). Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162: Utilización agroindustrial del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Sánchez-Martín, M. González-Velasco, J. Beltrán-Heredia, (2009). Acacia mearnsii de wild tannin-based flocculant in surface water treatment, *Journal of Wood Chemistry and Technology* 29 (2) 119–135.
- Singley J. Revisión de la teoría de coagulación del agua, (1986). Gainesville: Universidad de la Florida).
- Tumbaco, D. M., & Acebo, K. M. (Marzo de 2018). repositorio.ug.edu.ec. Obtenido de EFICIENCIA DE BIOCOAGULANTE A BASE DE SEMILLA DE MORINGA OLEÍFERA PARA: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/27909/1/MORINGA.pdf>
- Vargas, L. d. (2004). Flocualción. En L. d. Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano (págs. 265-306). Lima: CEPIS/OPS.
- Vásquez, O. (1994). Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales [tesis]. Monterrey.
- Velázquez–Gurrola, A., Angulo–Escalante, M.A., García–Estrada, R.S., Carrillo–Fasio, J.A. y Guerrero–Ontiveros, C. 2005. Actividad antifúngica de extractos con metabolitos secundarios de semillas de Moringa oleífera para el control de *Rhizopus stolonifer*. Memorias del VII Congreso Internacional de Fitopatología. Chihuahua, Chihuahua, México. Resumen L–40.
- Villabona A, Paz I, y Martínez. 2013. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 15: 137-144.
- WILCHEZ, J., MORALES, W., ARÉVALO, C., RIVERA, H. Alternativa para la potabilización del agua en zonas rurales. *Revista ambiental agua aire y suelo [online]*. 2013. Vol. 4, no. 2, p. 130-140.
- Yin. (2010). Emergind usage of plant-based coagulants for water and wasterwater treatment. *Process Biochem.*, 45 pp. 1437–1444.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO - DBO (MG/L)

### Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
DBO removida	Se basa en la media	,920	2	9	,433
	Se basa en la mediana	,930	2	9	,429
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,930	2	4,865	,455
	Se basa en la media recortada	,929	2	9	,430



## ANEXO 2. PRUEBAS DE NORMALIDAD

<b>Pruebas de normalidad</b>				
	Volumen de	Shapiro-Wilk	gl	Sig.
	coagulante	Estadístico		
	8 mililitros	,840	4	,196
STS removido	10 mililitros	,667	4	,004
	12 mililitros	,910	4	,481
	8 mililitros	,973	4	,858
STD removido	10 mililitros	,860	4	,262
	12 mililitros	,810	4	,120
	8 mililitros	,907	4	,464
Turbidez removida	10 mililitros	,825	4	,155
	12 mililitros	,991	4	,963
	8 mililitros	,853	4	,235
OD removida	10 mililitros	,895	4	,406
	12 mililitros	,980	4	,900
	8 mililitros	,922	4	,546
Conductividad removida	10 mililitros	,955	4	,748
	12 mililitros	,876	4	,322
	8 mililitros	,638	4	,002
Salinidad removida	10 mililitros	,827	4	,161
	12 mililitros	,887	4	,369
	8 mililitros	,818	4	,139
DBO removida	10 mililitros	,937	4	,635
	12 mililitros	,962	4	,794
	8 mililitros	,744	4	,034
pH removida	10 mililitros	,714	4	,017
	12 mililitros	,988	4	,945
	8 mililitros	,954	4	,738
Temperatura removida	10 mililitros	,921	4	,544
	12 mililitros	,944	4	,677

a. Corrección de significación de Lilliefors

### ANEXO 3. OBTENCIÓN DEL POLVO DE MORINGA



**Figura 14.** Semillas de Moringa con cáscara



**Figura 15.** Secado de semilla



**Figura 16.** Descascarado manual de las semillas ya secadas



**Figura 17.** Semillas de Moringa sin cáscara



**Figura 18.** Extracción de aceite vegetal y pigmentación (método Soxhlet)



**Figura 19.** Polvo de moringa sin aceite vegetal, ni pigmentación

## ANEXO 4. OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO DE TUNA Y TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL



**Figura 20.** Tuna pelada y cortada en trozos



**Figura 21.** Tuna cortada con agua destilada reposado por 48 horas



**Figura 22.** Obtención de la muestra de aguas residual doméstica



**Figura 23.** Muestras de agua en frascos para su posterior rotulado y etiquetado



**Figura 24.** Etiquetado y rotulado de las muestras de aguas



**Figura 25.** Medición de parámetros in situ

## ANEXO 5. PROCESO PARA LA COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE MORINGA Y TUNA



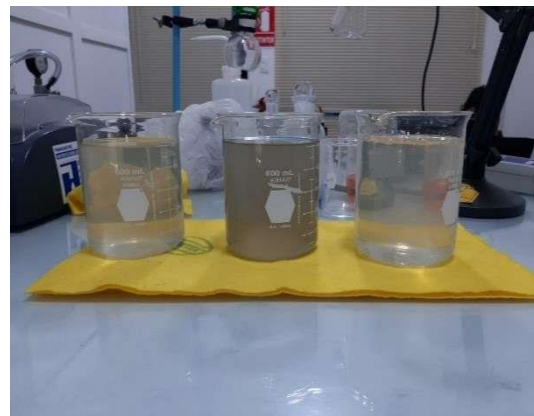
**Figura 26.** Muestra de agua residual antes de verter el coagulante de Moringa



**Figura 27.** Muestra de agua con el coagulante ya vertido



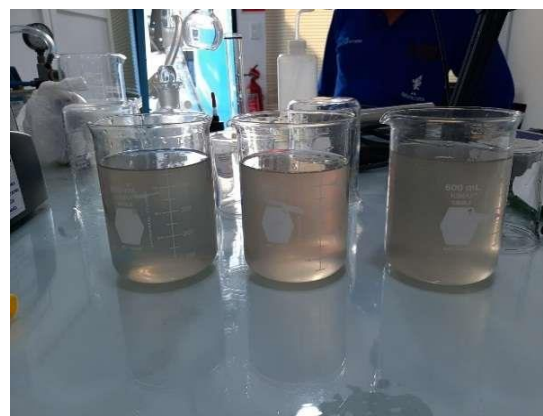
**Figura 28.** Flóculo Precipitado



**Figura 29.** Muestra de agua después del filtrado



**Figura 30.** Muestra de agua residual antes de verter el coagulante de Tuna



**Figura 31.** Muestra de agua después del filtrado

## ANEXO 5. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS Y EQUIPOS UTILIZADOS



**Figura 32.** Análisis de los parámetros



**Figura 33.** Multiparámetro HQ40D



**Figura 34.** Sondas de pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad, Salinidad, Sólidos totales disueltos, Sólidos totales en suspensión



**Figura 35.** Equipo para oxígeno disuelto con agitación para DBO5



**Figura 36.** Incubadora para DBO5