

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL



TESIS:

“Ensayo de coagulación-floculación con extracto de *Opuntia macbridei* Britton & Rose para mejorar la calidad de las aguas”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Mejoramiento Genético y Biotecnología

AUTOR:

HOYOS DELGADO, Giuseppe

ASESOR:

SEMINARIO CUNYA, Alejandro

CO-ASESOR:

HERRERA DIAZ, Santos Clemente

Dr. Alejandro Seminario Cunya

CHOTA-PERÚ

Dr. Santos Clemente Herrera Díaz

Asesor

2021

Co-asesor

Acta de sustentación

ACTA N° 09-2021/EPIFA/UNACH


Siendo las 14 horas, del día 10 de diciembre del 2021, en video conferencia del aplicativo Meet Google, los miembros del Jurado de Tesis titulada “Ensayo de coagulación-floculación con extracto de *Opuntia macbridei* Britton & Rose” para mejorar la calidad de las aguas” integrado por:

1. Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza, Presidente.
2. M.Sc. Alfonso Sánchez Rojas, Secretario.
3. M.Sc. Wilber Hugo Flores Rodriguez, Vocal.

Sustentada por Gioseppe Hoyos Delgado, con la finalidad de obtener su título profesional en Ingeniería Forestal y Ambiental

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda Aprobar la tesis, calificándola con la nota de 17 (diecisiete), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL.

Firmado en: Chota, 10 de diciembre del 2021.



Presidente



Secretario



Vocal

Agradecimientos

Agradezco a mi familia y amigos por su apoyo incondicional, también a los docentes que me enseñaron los cursos para mi formación profesional y compañeros por haber compartido conmigo algunos conocimientos con el cual hicieron posible y dieron algo de si para la realización de este trabajo.

A Dios, por permitirme existir, por brindarme buena salud, por cuidarme en todo momento, por darme fortaleza y ayudarme a no perder la fé de salir adelante y por brindarme esta oportunidad.

Expreso mis sinceros agradecimientos a mis asesores y a los docentes de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, por compartir conmigo sus experiencias y conocimientos sobre el tema de investigación que he abordado.

Dedicatoria

A Dios, a mis padres, abuelos, hermanos y tíos, quienes con su amor y apoyo incondicional, me motivan a alcanzar todos mis propósitos y metas trazadas.

Índice de contenidos

CAPITULO 1.INTRODUCCIÓN.....	14
CAPITULO 2.MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes.....	17
2.2. Bases Teóricas	21
2.2.1. Opuntia macbridei Britton & Rose.....	21
2.2.1.1. Clasificación Taxonómica.	22
2.2.1.1. Composición Química del Cladodio del Género Opuntia.....	22
2.2.1.2. Sustancia Coagulante-Floculante del Género Opuntia.....	23
2.2.2. El Agua.....	24
2.2.2.1. Fuentes de Abastecimiento de Agua.	24
2.2.2.2. Calidad del Agua.	25
2.2.2.2.1. Parámetros Físicos.	25
2.2.2.2.2. Parámetros Químicos.	26
2.2.2.2.3. Parámetros Microbiológicos.	28
2.2.2.3. Agua Tratada (Agua para Consumo).	29
2.2.3. Depuración de las Aguas.	31
2.2.3.1. Coloides.	31
2.2.3.1.1. Tipos de Coloides.....	31
2.2.3.1.2. Propiedades de los Coloides.....	32
2.2.3.1.3. Estabilidad de los Coloides.	32
2.2.3.2. Coagulación.....	33
2.2.3.2.1. Mecanismos de la coagulación.....	34
2.2.3.2.2. Factores que Intervienen en el Proceso de Coagulación.	35
2.2.3.2.3. Coagulantes Químicos.	35
2.2.3.2.4. Coagulantes Naturales.....	36
2.2.3.3. Floculación.	36
2.2.3.3.1. Mecanismos de Transporte en la Floculación.....	36
2.2.3.3.2. Factores que Influyen en la Floculación	37

2.3. Marco Conceptual.....	38
<i>CAPITULO 3.MARCO METODOLÓGICO</i>	<i>40</i>
3.1. Ubicación	40
3.2. Población y Muestra	42
3.2.1. Población.....	42
3.2.2. Muestra.	42
3.3. Equipos, Materiales e Insumos	42
3.4. Metodología de la Investigación	42
3.4.1. Tipo de Investigación.....	42
3.4.2. Enfoque de Investigación.	42
3.4.3. Variables de Estudio.....	42
3.4.4. Diseño de Investigación	43
3.4.5. Preparación del Extracto Coagulante-Floculante (Mucílago) de Opuntia macbridei.	44
3.4.6. Preparación de las Muestras de Agua a Tratar.	44
3.4.7. Dosificación con el Extracto Coagulante-Floculante	45
3.4.8. Ensayo en Laboratorio para Determinar la Eficiencia del Extracto de Opuntia macbridei Mediante el Jar Test	45
3.4.9. Análisis Físicoquímico del Agua.....	46
<i>3.4.9.1. Determinación de la Turbiedad por Nefelometría.....</i>	<i>46</i>
<i>3.4.9.2. Análisis de la Conductividad por Conductimetría.....</i>	<i>46</i>
<i>3.4.9.3. Potencial de hidrógeno por Potenciometría.....</i>	<i>47</i>
3.5. Análisis Estadístico	47
<i>CAPITULO 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	<i>48</i>
4.1. Caracterización del Agua Preparada: pH y Conductividad.....	48
4.2. Evaluación de los Parámetros Físicoquímicos Residuales del Agua	48
4.2.1. Turbidez Residual y Eficiencia de Remoción de Turbidez	49
<i>4.2.1.1. Resultados para una Turbidez Inicial de 15 NTU.</i>	<i>49</i>
<i>4.2.1.2. Resultados para una Turbidez Inicial de 50 NTU.</i>	<i>51</i>
<i>4.2.1.3. Resultados para una Turbidez Inicial de 100 NTU.</i>	<i>52</i>
<i>4.2.1.4. Resultados para una Turbidez Inicial de 200 NTU.</i>	<i>53</i>

4.2.1.5. Resultados para una Turbidez Inicial de 300 NTU.	55
4.2.1.6. Resultados para una Turbidez Inicial de 400 NTU.	57
4.2.1.7. Resultados de Turbidez Residual Aplicando las Dosis Óptimas.	59
4.2.2. pH residual	62
4.2.3. Conductividad Eléctrica Residual	63
4.3. Análisis Estadístico	64
4.3.1. Prueba de Normalidad	64
4.3.2. Coeficiente de Variabilidad (CV) y Prueba de Homogeneidad de Varianzas.....	66
4.3.3. Análisis de Varianza y Método de Diferencia Significativa Honesta de Tukey	66
4.3.3.1. Análisis de Varianza	66
4.3.3.2. Prueba de Diferencia Significativa Honesta de Tukey (HSD Tukey).	68
4.3.3.2.1. HSD Tukey para las Variables Dependientes Turbiedad Residual y Eficiencia de Remoción de Turbidez (%).	68
4.3.3.2.2. HSD Tukey para la Variable Dependiente de pH Residual.	73
4.1.1.1. HSD Tukey para la Variable Dependiente Conductividad Residual.	74
4.3.4. Modelo de Regresión Múltiple Cuadrático.....	75
CAPITULO 5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
5.1. Conclusiones	78
5.2. Recomendaciones	78
CAPITULO 6.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	95

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Características químicas de los cladodios de O. ficus-indica.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2. Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua destinada al consumo humano en el Perú respecto a los parámetros fisicoquímicos.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Límites máximos permisibles (LMP) de parámetros de calidad organoléptica en el Perú.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4. Estándares de calidad de agua potable (ECA) internacionales según la agencia de protección ambiental (EPA).</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 5. Equipos, materiales e insumos usados.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 6. Operacionalización de variables</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Tratamientos aplicados en la investigación.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Caracterización del agua preparada a diferentes niveles de turbidez inicial</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 9. Análisis de normalidad para las variables dependientes como turbiedad, pH y conductividad, mediante Shapiro-Wilk.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 10. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error basados en la media</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 11. MANOVA para los factores: dosis aplicada y turbiedad inicial del agua.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 12. HSD Tukey para la turbidez residual y el factor de turbidez inicial</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 13. HSD Tukey para la eficiencia de remoción de turbidez (%) y el factor de turbidez inicial.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 14. HSD Tukey para la turbiedad residual y el factor de dosis aplicado</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 15. HSD Tukey para la eficiencia de remoción de turbidez (%) y el factor de dosis aplicado.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 16. HSD Tukey para el pH residual y el factor de turbidez inicial.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 17. HSD Tukey para el pH residual y el factor de dosis aplicada.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 18. HSD Tukey para la conductividad residual y el factor de turbidez inicial.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 19. HSD Tukey para la Conductividad residual y el factor de dosis aplicado</i>	<i>74</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Configuración esquemática de la doble capa eléctrica	33
<i>Figura 2.</i> Mapa de ubicación del trabajo de tesis.....	41
<i>Figura 3.</i> Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 15 NTU	49
<i>Figura 4.</i> Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 15 NTU	49
<i>Figura 5.</i> Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 50 NTU	51
<i>Figura 6.</i> Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 50 NTU	51
<i>Figura 7.</i> Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 100 NTU	52
<i>Figura 8.</i> Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 100 NTU.....	53
<i>Figura 9.</i> Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 200 NTU	54
<i>Figura 10.</i> Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 200 NTU.....	54
<i>Figura 11.</i> Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 300 NTU	56
<i>Figura 12.</i> Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 300 NTU.....	56
<i>Figura 13.</i> Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 400 NTU.	57
<i>Figura 14.</i> Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 400 NTU.....	58
<i>Figura 15.</i> Turbidez residual de acuerdo a las dosis óptimas aplicadas en los niveles de turbidez inicial.....	60
<i>Figura 16.</i> Eficiencia de remoción de turbidez de acuerdo a las dosis óptimas aplicadas en los niveles de turbidez inicial	60
<i>Figura 17.</i> pH residual de acuerdo a las dosis óptimas aplicadas en los niveles de turbidez inicial.....	62
<i>Figura 18.</i> Conductividad eléctrica residual de acuerdo a las dosis óptimas aplicadas en los niveles de turbidez inicial	63
<i>Figura 19.</i> Relación entre la turbidez residual y el factor de turbidez inicial.....	69
<i>Figura 20.</i> Relación entre la eficiencia de remoción de turbidez (%) y el factor de turbidez inicial.....	70

Figura 21. Relación entre la turbidez residual y el factor de dosis de extracto aplicado.....	71
Figura 22. Relación entre la eficiencia de remoción de turbidez (%) y el factor de dosis de extracto aplicado	72
Figura 23. Relación entre la Conductividad residual y el factor de dosis de extracto aplicado.....	74
Figura 24. Relación entre la Conductividad residual y el factor de dosis de extracto aplicado.....	75
Figura 25. Ejemplar de <i>Opuntia macbridei</i>	99
Figura 26. Cladodios de <i>Opuntia macbridei</i>	99
Figura 27. Flor de <i>Opuntia macbridei</i>	100
Figura 28. Recojo del cladodio de la <i>Opuntia macbridei</i>	100
Figura 29. Lavado, Retiro de la corteza y espinas del cladodio de la <i>Opuntia macbridei</i> ...	101
Figura 30. Picado del Cladodio de <i>Opuntia macbridei</i> para la obtención del mucílago.....	101
Figura 31. Licuada del mucílago de <i>Opuntia macbridei</i>	102
Figura 32. Secado del mucílago en estufa	102
Figura 33. Mucílago seco en estufa.....	103
Figura 34. Mucílago siendo pulverizado con mortero.....	103
Figura 35. Mucílago pulverizado con mortero	104
Figura 36. Extracto de mucílago de <i>Opuntia macbridei</i>	104
Figura 37. Recojo del suelo arcilloso	105
Figura 38. Mezcla del suelo arcilloso con agua destilada	105
Figura 39. Dosificación en el agitador múltiple.....	106
Figura 40. Mezcla rápida y floculación de muestras.....	106
Figura 41. Proceso de sedimentación de muestras.....	107
Figura 42. Medición de la turbidez de las muestras de agua	107
Figura 43. Medición del pH y la conductividad eléctrica de las muestras de agua.....	108
Figura 44. Muestras de agua a 15 NTU de turbidez inicial antes de aplicar el extracto.....	109
Figura 45. Muestras de agua una vez aplicada la dosis óptima de 50 mg/L de extracto a 15 NTU de turbidez inicial.....	109
Figura 46. Muestras de agua a 50 NTU antes de aplicar el extracto.....	110
Figura 47. Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 50 mg/L de extracto a 50 NTU de turbidez inicial.....	110
Figura 48. Muestras de agua a 100 NTU antes de aplicar el extracto.....	111

Figura 49. Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 100 mg/L de extracto a 100 NTU de turbidez inicial.....	111
Figura 50. Muestras de agua a 200 NTU de turbidez inicial antes de aplicar el extracto....	112
Figura 51. Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 100 mg/L de extracto a 200 NTU de turbidez inicial.....	112
Figura 52. Muestras de agua a 300 NTU de turbidez inicial antes de aplicar el extracto....	113
Figura 53. Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 150 mg/L de extracto a 300 NTU de turbidez inicial.....	113
Figura 54. Muestras de agua a 400 NTU de turbidez inicial antes de aplicar el extracto....	114
Figura 55. Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 150 mg/L de extracto a 400 NTU de turbidez inicial.....	114

Resumen

Se evaluó la eficiencia del extracto de *Opuntia macbridei* Britton & Rose como coagulante-floculante para remover la turbidez del agua, donde se determinó la dosis óptima y la variación de los parámetros de turbidez, pH y conductividad eléctrica del agua. Para lograrlo, se sometió a un ensayo de prueba de jarras en los laboratorios de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, se utilizó un diseño experimental aleatorio con arreglo factorial de 6 x 6, donde cada factor estuvo conformado por 6 niveles (turbiedad inicial: 15, 50, 100, 200, 300 y 400 NTU y dosis de mucílago: 25, 50, 100, 150, 200, y 250 mg/L), en las siguientes condiciones: 100 rpm por un minuto de mezcla rápida, 30 rpm de mezcla lenta, 30 minutos de tiempo de floculación y dos horas para la sedimentación. Encontrándose que para muestras de turbidez inicial baja (15 y 50 NTU) la dosis óptima fue de 50 mg/L, para turbidez inicial media (100 y 200 NTU) fue de 100 mg/L, y para turbidez elevada (300 y 400 NTU) fue de 150 mg/L; se logró una eficiencia de remoción de turbidez entre 43,67% y 89,28%, y una turbidez residual comprendida entre 5,47 NTU y 19,94 NTU. Se observó que el uso del extracto de *Opuntia macbridei* como coagulante-floculante es eficiente aunque no se logra alcanzar los LMP nacionales y ECA nacionales e internacionales. El extracto utilizado como coagulante-floculante, incrementa muy ligeramente la conductividad eléctrica y no afecta significativamente el pH del agua.

Palabras clave.

Eficiencia de remoción, turbidez, extracto, coagulante-floculante, ensayo de prueba de jarras.

Abstract

The efficiency of *Opuntia macbridei* Britton & Rose was evaluated as a coagulant-flocculant to remove the turbidity of water, where the optimal dose and the variation of parameters of turbidity, pH and electrical conductivity of water were determined. To achieve this, it was underwent to jar test in the laboratories of the Universidad Nacional Autónoma de Chota, a randomized experimental design with a factorial arrangement of 6 x 6 was used, where each factor was made up of 6 niveles (initial turbidity: 15, 50, 100, 200, 300 y 400 NTU and dose of mucilage: 25, 50, 100, 150, 200, 250 mg/L), under the following conditions: 100 rpm for one minute of rapid mixing, 30 rpm slow mixing, 30 minutes flocculation time and two hours for sedimentation. Finding that for samples with low initial turbidity (15 and 50 NTU) the optimal dose was 50 mg/L, for mean initial turbidity (100 and 200 NTU) it was 100 mg/L, for high initial turbidity (300 and 400 NTU) it was 150 mg/L; turbidity removal efficiency between 43,67% and 89,28% was achieved, and a residual turbidity between 5,47 NTU and 19,94 NTU. It was observed that the use of the extract of *Opuntia macbridei* as coagulant-flocculant is efficient, although it is not possible to reach the national LMP and national & internacional ECA. The extract used as a coagulant-flocculant increases the electrical conductivity very slightly and it does not affect significantly pH of water.

Keywords

Removal efficiency, turbidity, extract, coagulant-flocculant, jar test

CAPITULO 1.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se realizó debido al deterioro de la calidad del agua, que está aumentando considerablemente en el mundo, especialmente en África, Asia y América Latina (Toledo et al., 2017), haciendo que el agua sea no apta para consumo humano e incrementando los costos de su tratamiento (Chulluncuy, 2011). Solo un 71 % de la población mundial cuenta con servicio de agua para consumo, el resto carece de este servicio, quienes recurren a fuentes no mejoradas tales como pozos, manantiales y aguas superficiales (Organización Mundial de la Salud [OMS] & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2017); relacionado con estas cifras en América Latina y el Caribe, el 20 % de su población no tiene acceso al agua potable (Organización Panamericana de la Salud [OPS] & Organización Mundial de la Salud [OMS], 2015). La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016) sostiene que, en el ámbito nacional, se han identificado 41 unidades hidrográficas que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA); de igual forma el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018) y Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2017), señalan que el 5,6% de la población peruana urbana no tiene acceso al agua de consumo y en el área rural el 28,1 %. En Chota, la mayoría de la población del área rural se abastece de un agua canalizada o entubada, es decir no se practica el tratamiento de aguas para consumo humano; mientras que en el área urbana se cuenta con una planta de tratamiento tradicional para agua de consumo, en la que se utiliza reactivos químicos (sulfato de aluminio) como coagulantes, que pueden dejar remanentes químicos en el agua, causando problemas sanitarios, ambientales, económicos, y sociales.

En ese sentido la Atención Primaria de Saneamiento Básico Cajamarca (APRISABAC, 1997), sostiene que el agua debido a su poder disolvente y erosivo, presenta sustancias disueltas o suspendidas que la hacen inapta para el consumo humano. En las sustancias suspendidas destacan los coloides que son muy difíciles de remover del agua debido a su pequeño tamaño y su carga eléctrica; motivo por el cual es importante agregar un producto que genere desestabilización de los coloides y permita que estos se junten, y sean eliminados del agua. Este proceso de desestabilización coloidal se conoce como coagulación, que según Marín (2013), es un procedimiento que disminuye las fuerzas de las partículas coloidales que los mantienen separados, al añadir una sustancia llamada coagulante; inmediatamente después de

este proceso Spellman y Drinan (2013) señalan, que empieza la floculación y lo definen como el mecanismo por el cual los coloides desestabilizados chocan entre sí y se juntan formando flóculos capaces de sedimentar.

Entre los coagulantes más usados tenemos al sulfato de aluminio, que después de ser usado permanece aluminio residual en el agua potable (Morejón, 2017) y esta al ser consumida según Wang et al. (2016), causa Alzheimer en la población con un 71% de probabilidad; asimismo la SUNASS (2004), señala que el aluminio presente en el agua causa irritaciones de la piel, úlceras bucales, ampollas, inflamación en la faringe, diarrea y lasitud. Por otro lado, los lodos generados durante la potabilización cuando se vierte directamente en los cuerpos hídricos produce el aumento de la acidez del agua y el aumento de la concentración de aluminio (Guerra, 2020), afectando de esta manera sus usos potenciales a los que este destinada (Torres et al., 2012). Sin embargo, en estos últimos años se han realizado investigaciones para aplicar coagulantes naturales en reemplazo de los químicos, ya que son menos perjudiciales para la salud y el medio ambiente, debido a que son sustancias consumibles y biodegradables (Olivero et al., 2013).

Entre estos coagulantes naturales tenemos a los tallos de *Hylocereus triangularis*, corteza de *Guazuma ulmifolia*, semillas de *Moringa oleífera* (Rodiño et al., 2014), cristales de sábila, nuez, semilla de mango dulce, cáscara de mandarina, fruto de guatila, semilla de tamarindo, fruto de pitahaya (Zamudio et al., 2015), *Cactus lefaria*, *Opuntia ficus-indica*, *Plantago psyllium*, *Malva sylvestris*, *Hibiscus esculentus* (Ramírez & Jaramillo, 2015), las cáscaras de papa (Alvarado, 2012), almidón de *Manihot Esculenta Crantz* “yuca”, algas marinas como *Chlorophyta*, *Phaeophyceae* y *Rhodophyta* (Molina, 2016) y almidón de plátano (Trujillo et al., 2014).

Con este trabajo de investigación se genera una alternativa natural de tratamiento de las aguas, como es el caso del extracto coagulante-floculante de *Opuntia macbridei*, que es un producto natural, pertenece al mismo género de *Opuntia ficus indica*; asimismo Martínez y Gonzales (2012) y Ramírez y Jaramillo (2015), señalan que los cladodios de la *Opuntia ficus-indica* son de baja o nula toxicidad, no son invasivos con la naturaleza y rompen el paradigma de la exclusividad de uso de los productos químicos. Además, se debe promover que los coagulantes-floculantes de origen natural sean nuevas alternativas para ser implementadas en los procesos de purificación del agua, por ser económicos y causar un menor impacto sobre los ecosistemas, debido a su naturaleza biodegradable (Díaz, 2014).

El presente trabajo tiene como objetivo general evaluar la eficiencia de la aplicación del extracto de *Opuntia macbridei* como coagulante-floculante para mejorar la calidad de las aguas; asimismo, los objetivos específicos consisten en determinar la dosis óptima de aplicación del extracto de *Opuntia macbridei* por cada nivel de turbidez inicial del agua y analizar la variación de los parámetros de pH y conductividad eléctrica del agua producido por la aplicación del extracto de *Opuntia macbridei*. Para llevar a cabo este estudio, se planteó que la aplicación del extracto de *Opuntia macbridei* será eficiente para mejorar la calidad de las aguas como hipótesis de investigación, luego se preparó el extracto y las muestras de agua a diferentes niveles de turbidez, después se sometió a una prueba de jarras (jar test) con la finalidad de determinar las dosis óptimas por cada nivel de turbidez inicial; asimismo, se evaluó la variación de los parámetros indicadores de la calidad de agua para esta investigación (turbidez, pH y la conductividad eléctrica) teniendo en cuenta la turbidez inicial del agua y la dosis óptima.

CAPITULO 2.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Choque et al. (2018), evaluaron la capacidad floculante de tres variedades de cactáceas *Echinopsis pachanoi* (San Pedro), *Neoraimondia arequipensis* (ulluquite) y *Opuntia ficus-indica* (Tuna) en agua artificial. Para lograr este estudio, se preparó muestras de agua artificial con caolín y una solución al 1% a partir del coagulante en polvo extraído con etanol, cloruro de sodio y agua; luego por cada especie, en un tubo de ensayo se colocó 4,50 mL de agua artificial, 0,25mL de solución de hierro al 1% y finalmente se aplicó 0,25 mL de coagulante natural en tres concentraciones 1%, 2%, y 3%, se agitó durante 15 segundos y se dejó sedimentar durante cinco minutos. En este sentido, se obtuvo que el coagulante de *Echinopsis pachanoi* extraída con etanol fue la más eficiente usando un 3% de concentración de coagulante, ya que removió la turbiedad entre 48,58 % y 99,33%; además para las cactáceas utilizadas en este estudio el pH aumento de 6,61 a 7,58.

Vargas (2018), en Ecuador tuvo como objetivo “evaluar la eficiencia de la Tuna (*O. ficus-indica*) como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales” (p.3). Para alcanzar el objetivo, se hizo una caracterización del coagulante mediante un análisis bromatológico, se recogió muestras de agua residual proveniente de la industria láctea, se preparó las soluciones a partir del coagulante en polvo al 1%, 1,5% y 2%, y finalmente se realizó la prueba de jarras con una agitación de mezcla rápida de 90 rpm por 5 minutos, mezcla lenta de 20 rpm por 10 minutos y 30 minutos de sedimentación, aplicando para 1000 mL de agua residual las dosis de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 mL. De esta manera, obtuvo 20 ml de coagulante a una concentración de 2% como dosis óptima, existiendo eficiencias de remoción de 99.06 % de coliformes fecales, 53,63% de sólidos totales, 44,26% de sólidos suspendidos, 77,84% de turbiedad y 51,79% de color.

En otro contexto Olivero et al. (2017), evaluaron el desempeño del sulfato de aluminio con *Moringa Oleífera*, y *Opuntia ficus* como coagulantes en las aguas del río Magdalena. Para llevar a cabo el estudio, se realizó la extracción del coagulante en polvo luego se mezcló con sulfato de aluminio (10, 20 y 30% de coagulante natural), también se hizo la mezcla entre estas dos especies (40 y 60 % de una especie), luego se analizaron las variables independientes de dosis (35, 40 y 50mg/L) y pH (7 y 8) en la prueba de jarras, a 30 rpm por 30 segundos, luego

del tiempo de floculación se dejó sedimentar por 30 minutos. Finalmente se llegó a concluir, que mezclando *Moringa oleífera* y *Opuntia ficus* se remueve un porcentaje de turbidez mayor a 90%, mientras que mezclando alumbre y los coagulantes naturales se puede remover un 99 % de turbidez; mencionan además, que el sulfato de aluminio es el más eficiente, cuando existe turbiedades iniciales bajas del agua y dosis bajas de coagulante.

Guardado y Hernández (2017), investigaron la: “efectividad de floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavandería industrial, utilizando el cladodio de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) y la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*)” (p.10). Para lo cual, se recogió muestras simples de agua residual con una frecuencia semanal durante 5 semanas, se preparó la solución floculante de *Opuntia ficus indica* que contenía 1 gramo de esta en 100 mL de agua destilada, se realizó la prueba de jarras (cada jarra con 200 mL de agua residual) usando un diseño de 3^3 en la que estuvo conformado por los factores de dosis de coagulante (3, 6 y 9mL), pH (5, 6 y 7) y tiempo de floculación (10, 20 y 30 minutos), además se sometió a una agitación de mezcla rápida por un minuto. Finalmente, se logró remover el 40,33 % de la turbiedad, el 47,9 48,8% de SST, el 70,7 % de DBO y el 52,7 % de DQO de las aguas residuales estudiadas, con los parámetros óptimos como pH de 6, dosis de 3 mL de solución coagulante y 20 minutos de agitación lenta.

Morejón (2017), analizó el efecto del mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en fresco para mejorar la calidad del agua para consumo en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi-Ecuador. Para lo cual, realizó un análisis fitoquímico de las pencas, preparó la solución floculante en fresco a partir de 2 Kg de cladodios en 20 litros de agua destilada, utilizó las concentraciones de 0, 25, 50, 75 y 100% de solución coagulante con respecto al agua a ser tratada mediante la prueba de jarras. Como resultado, determinó que a una dosis de 25% de mucílago y 75% de agua cruda existe mayor eficiencia de remoción de contaminantes del agua, como es el caso de la remoción de turbiedad en un 48,6%, el color en un 13,9 %, y los SDT en un 24,4%.

Fuentes et al. (2016), tuvieron la iniciativa de: “evaluar la eficiencia de los coagulantes naturales *Moringa oleífera*, Cactus *Opuntia*, algas marinas y almidón para la clarificación de aguas para consumo humano, como sustituto al sulfato de aluminio en sistemas batch y continuos” (p.41). Para concretizar la iniciativa, se utilizó la prueba de jarras a 200 rpm por un minuto, un tiempo de mezcla lenta de 25 minutos a 25 rpm y un tiempo de sedimentación de 30 minutos, en la que se analizó el efecto del lavado de los coagulantes naturales naturales con

agua destilada y con soluciones a 0,2 M de hidróxido de calcio, cloruro de calcio, hidróxido de sodio, y cloruro de sodio, para eliminar las impurezas antes de ser pulverizado, se analizó la influencia de las dosis de 60, 80 y 100 mg/L tanto para las especies en estudio como de sulfato de aluminio. En este sentido, el cactus *Opuntia* demostró mayor eficiencia de remoción de turbidez que las demás especies porque removió el 98,41% de turbiedad, a una turbiedad inicial de 700 NTU y a una dosis óptima de 100 mg/L, sin necesidad de lavado con soluciones de productos químicos siendo suficiente el agua; sin embargo, el sulfato de aluminio también tiene un alto porcentaje de remoción de turbidez (entre un 95 y 99%).

En una investigación realizada por Bautista (2019), se evaluó el uso de harina de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*), melocactus (*Melocactus peruvianus*) y penco (*O. macbridei*) para remover la turbidez antes de ser consumida en la localidad de Florida-Pomacochas-Amazonas. Para la cual, preparó las soluciones coagulantes a partir de partes estratégicas de estas especies en forma de harina, luego se analizó mediante la prueba de jarras la aplicación de dosis de 90 mg/L de cada especie sobre las muestras de agua que se consume en la Florida. Finalmente, obtuvo que todos estos coagulantes naturales, no afectaron el pH, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica, para una turbiedad inicial del agua de 33,40 NTU; sin embargo, la pitahaya fue más eficiente en relación a la turbidez, porque removió en un 37,79% la turbiedad, seguido del penco con un 8,8 %.

En otro contexto Razury (2017), evaluó la forma en que los coagulantes naturales (*Aloe vera*, *L* y *Opuntia ficus-indica*) disminuyen la DBO₅ y la DQO en las aguas del canal de regadío de Chuquitanta-San Martín de Porres. Para la cual, mediante la prueba de jarras se aplicaron los tratamientos (T): T1= *Aloe vera* L, T2= *Opuntia ficus-indica* y T3= *Aloe vera* y *Opuntia ficus-indica*, con dosificaciones de 600 mg/L, 700 mg/L y 800 mg/L respectivamente. En este sentido, el T2 tuvo mayor eficiencia de remoción en comparación con el T1 a una dosis óptima de 800 mg/L, removiendo el 79,5 % de DBO₅ y el 86,11% de DQO; sin embargo, al comparar los tres tratamientos, el T3 fue el más eficiente a una dosis óptima de 800 mg/L, porque removió un 80,64% de DBO₅ y un 90,11% de DQO.

López (2018), evaluó la eficiencia de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural en el tratamiento de aguas. Para lograr este trabajo de investigación, preparó muestras de agua sintética (arcilla con agua destilada) con turbiedades de 20, 50, 100, 300 y 500 NTU, luego preparó una solución al 10% con el coagulante en polvo, mediante la prueba de jarras a 300 rpm por un minuto de mezcla rápida, 30 rpm por 20 minutos de mezcla lenta y un tiempo

de sedimentación de 20 minutos, se determinó las dosis óptimas aplicando dosis entre 10 y 110 mg/L, después de obtener las dosis óptimas por cada nivel de turbidez se procedió a determinar la concentración óptima aplicando concentraciones de 0,1%, 0,5%, 1%, 2%, 5% y 10%, y finalmente determinar el pH óptimo sometiendo el agua a pH inicial de 5, 7 y 9. En este sentido, obtuvo dosis óptimas de 30, 45, 55, 75 y 90 mg/L para las turbiedades iniciales de 20, 50, 100, 300 y 500 NTU respectivamente, concentraciones óptimas de coagulante de 2% para turbiedad de 20 a 50 NTU, 1% para turbiedad de 100 a 300 NTU, y 0,5 % para turbiedad de 500 NTU, y un pH óptimo de 9 para todos los niveles de turbidez; resaltando, la remoción de turbiedad en un 58% en muestras de 20 NTU y 86% en muestras de 500 NTU, y no varió significativamente el pH y la conductividad eléctrica del agua.

Albujar (2018), determinó el rendimiento del nopal (*Opuntia ficus-indica*) con nanopartículas de plata (AgNPs) para la reducción de materia orgánica y *Escherichia coli* en las aguas del Río Pisco. Para llevar a cabo dicho estudio, se realizó la prueba de jarras con una agitación rápida, una agitación lenta de 20, 30 y 40 rpm, dosificando la mezcla de 0,5 mL de nanopartículas de plata (biocida) con 0,5 g/L, 0,7 g/L y 0,9 g/L de coagulante natural. Obtuvo como mejores resultados, la remoción de 56,88% de DBO₅, 69,07% de DQO, y 100% de *Scherichia coli*, dosificando con 0,7 g/L de mucílago mezclado con nanopartículas de plata a una agitación lenta de 20 rpm.

En un trabajo de investigación realizado por Lozano (2018), con el objetivo de: “evaluar la efectividad de los procesos de obtención del floculante de *Opuntia ficus-indica* para disminuir la turbidez en el río Chonta de Cajamarca” (p.6). Para lo cual, se recogió muestras que tenían 55 NTU de turbidez inicial, se extrajo el mucílago de la tuna en fresco mediante tres procesos como la extracción, licuado y escurrimiento, y mediante el jar test se analizó la influencia de la agitación en el agua (20, 40, 60 y 80 rpm) y la dosis para 0,5 L de agua a ser tratada (0, 25 mL, 0,50 mL, y 0,75 mL). En este sentido, usando una dosis óptima de 0,50 mL de floculante, y sometiendo a una agitación de 40 rpm, la extracción por escurrimiento fue el más eficiente, removiendo un 82% de turbiedad.

Godoy (2018), comparó la disminución de la turbiedad del agua en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y Tuna. Para llevarlo a cabo, extrajo el floculante de la paleta de tuna mediante rallado (5, 8,10, 15 y 20 mg) y lo colocó en muestras de 600 mL de agua del río “San Lucas”, mediante la prueba de jarras se analizó su efecto sobre la turbidez a una agitación rápida por un minuto de 50, 60 y 80 rpm, una agitación lenta de 30 rpm por 30

minutos y un tiempo de sedimentación de 20 minutos, finalmente se comparó con el coagulante químico ECOPOL CS 600 (dosis de 8mg). En este sentido, el floculante de tuna presentó mayor eficiencia que el ECOPOL CS 600, porque removió la turbiedad hasta en un 98,9 % para una dosis óptima de 10 mg y 50 rpm de agitación de mezcla rápida, en comparación con el ECOPOL CS 600, que removió la turbiedad en un 96,7% a una agitación de mezcla rápida óptima de 60 rpm; todo esto se logró para aguas con 315 NTU de turbidez inicial.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. *Opuntia macbridei* Britton & Rose

Los pobladores del distrito de Chimbán a esta especie lo llaman “Tuna Chica”, sin embargo el nombre científico se ha dado en honor a Francis Macbridei, porque estudió la flora peruana, asimismo en 1922, Britton y Rose describieron este vegetal que fue colectada por Macbridei y Featherstone en Huánuco; posteriormente fue reportada en Cajamarca, Piura, Ancash y La Libertad; porque crece desde los 30 metros sobre el nivel de mar (msnm) hasta 2300 msnm, encontrándolo específicamente en San Pedro de los Incas y Provincia de Tumbes región Tumbes, Jaén región Cajamarca, Santiago de Chuco región La Libertad, Caráz región Áncash, y Huánuco (Ostolaza, 2014).

Esta especie, es un arbusto pequeño de 60 cm de alto, forma extensas matas impenetrables, presenta segmentos abovados (6 a 8 cm de ancho y de 8 a 15 cm de largo), presenta un color verde claro que cambia a verde oscuro con la edad, tiene cladodios circulares y pequeños, hojas diminutas (1 a 2 mm de largo y son caducas), areolas afelpadas con gloquidios de color marrón, espinas de tamaño desigual (rectas y fuertes de 2 a 5 cm de largo), flores pequeñas (rojas, ovario tuberculado, sin espinas, polen hexacolpado, tectum perforado, a veces están enterradas en los cladodios), y el fruto (muy umbilicado, de color rojizo a púrpura, semillas morrones, estériles que enraízan todo el fruto al caer directamente) (Britton & Rose, 1923). Muchos autores lo consideran como sinónimo de *Opuntia quitensis* Weber, sin embargo difiere en la color de la flor (anaranjado) y en la forma y tamaño del cladodio (más grande y alargado) (Ostolaza, 2014).

2.2.1.1. Clasificación Taxonómica.

The Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016), señala que la taxonomía de *Opuntia macbridei* (Tuna Chica) es la siguiente:

Reino : *Plantae*

División : *Magnoliophyta*

Clase : *Magnoliopsida*

Orden : *Caryophyllales*

Familia : *Cactaceae*

Género : *Opuntia*

Especie : *Opuntia macbridei* Britton & Rose

2.2.1.1. Composición Química del Cladodio del Género *Opuntia*.

Debido a la falta de disponibilidad de información de la composición química de *Opuntia macbridei*, y siendo *Opuntia ficus-indica* la especie más estudiada del género *Opuntia* en el tratamiento de aguas, se toma como referencia la composición química de las pencas o cladodios de esta especie.

Tabla 1.

Características químicas de los cladodios de O. ficus-indica.

Característica	Edad de los cladodios		
	1-4 meses	5-8 meses	9-12 meses
Acides titulable (g ácido malico.100 g ⁻¹)	0.76±0.11	0.49±0.11	0.41±0.10
pH	4.52±0.05	4.08±0.05	4.24±0.20
Sólidos Solubles totales (°Brix)	5.59±0.29	5.09±0.58	4.98±0.39
Ácido Ascórbico (mg.100g ⁻¹)	17.34±2.30	12.88±3.73	12.16±3.52
Humedad (g.100g ⁻¹)	91.69±0.77	92.20±1.09	91.81±1.21
Proteína (g.100g ⁻¹)	0.60±0.04	0.50±0.01	0.43±0.02
Grasa (g.100g ⁻¹)	0.14±0.002	0.19±0.02	0.15±0.02
Cenizas (g.100g ⁻¹)	1.32±0.05	1.49±0.05	1.51±0.08
Carbohidratos (g.100g ⁻¹)	5.95	5.62	6.02
Pectina total (g AGA.100g ⁻¹)	0.24±0.02	0.36±0.04	0.37±0.03
Hierro (g.100g ⁻¹)	0.70±0.24	0.18±0.02	0.18±0.07
calcio (g.100g ⁻¹)	126.06±8.83	173.66±33.91	193.48±10.23
Potasio (g.100g ⁻¹)	376.32±19.82	307.39±13.70	256.17±101.64

Nota. Resultados expresados como el promedio ± desviación estándar de 20 cladodios con 5 réplicas por edad, de un cultivo de aproximadamente 25 años de edad, donde AGA significa Acido anhidrogalacturónico. Fuente: (Barazarte et al., 2017).

2.2.1.2. Sustancia Coagulante-Floculante del Género *Opuntia*.

La sustancia coagulante-floculante del género *Opuntia*, es el mucílago, que al entrar en contacto con el agua forma una sustancia viscosa que tiene una gran facilidad para atrapar las partículas suspendidas (Razury, 2017), presenta en su estructura molecular de carácter polielectrolítico (Majdoub et al., 2001). Asimismo Villabona et al. (2013), señalan que las saponinas, flavonoides, las sales de calcio y hierro no son los que llevan a cabo la coagulación, sino son el ácido poligaracturónico y los compuestos algínicos presentes en la planta.

Rodríguez (2017), sostiene que *Opuntia ficus-indica* contiene un hidocoloide o mucílago viscoso que permite la aglomeración de partículas coloidales, y está constituido por carbohidratos de elevado peso molecular entre ellos se encuentran principalmente los compuestos de ácido D-galacturónico (8 a 12.7%), L-ramnosa (7 a 13.1%), D-xilosa (22 a 22.2%), D-galactosa (21 a 40.1%) y L-arabinosa (24.6 a 42%). Sin embargo, el porcentaje presente de estos monómeros depende de la variedad, edad, requerimientos agroclimáticos y de la parte de donde se extraiga el hidocoloide que puede ser de la cáscara, el fruto o la penca (Abraján, 2008).

El mucílago del género *Opuntia* es un compuesto importante porque ayuda a clarificar las aguas, removiendo los sólidos presentes en el agua, para de esta forma obtener una mejor calidad de agua para usos posteriores, por su parte Alcázar (2015), logró demostrar que el mucílago de la *Opuntia ficus-indica* realiza una alta actividad coagulante en las aguas, ya que obtuvo como resultados durante su investigación, una eficiencia de remoción del 93,15 % y 90,82 %, para una turbidez inicial de 75,5 NTU y 92,5 NTU respectivamente, además observó que no altera de manera significativa el pH; motivo por el cual Quispe (2012), recomienda la disolución del mucílago extraído de *Opuntia ficus-indica*, para que de esta forma sea más eficiente en la aglomeración de partículas coloidales; además menciona que el mucílago fresco es más eficiente que el mucílago seco, porque remueve en un 95,39% y 92,36% de turbidez para aguas con turbidez altas, y entre un 25 y 19% para aguas con turbidez medias.

Asimismo, *Opuntia cochenillifera* demostró un desempeño considerable para remover el color de las aguas cuando existe turbiedad y alcalinidad elevada (Jiménez et al., 2012), también *Opuntia wentiana* se utilizó como coagulante en muestras de turbiedad entre 100 y 200 NTU, removiendo entre 85,25% y 94,84% de turbiedad (Parra et al., 2011), además existe un estudio con *Opuntia macbridei*, que consistió en evaluar este coagulante en forma de harina,

para muestras de agua a una turbiedad baja, en la cual demostró su potencial coagulante-floculante (Bautista, 2019).

2.2.2. El Agua.

Según el Congreso del República del Perú (2009) “el agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la nación” (p.3).

Guerrero (2010), afirma que el agua es una sustancia, donde sus moléculas están formadas por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, es inodora, líquida, insípida e incolora; es la más abundante de la superficie terrestre y se encuentra formando la lluvia, las fuentes, los organismos vivos, los ríos y los mares. En ese sentido la APRISABAC (1997), sostiene que debido a su poder disolvente y erosivo, se presentan sustancias suspendidas o disueltas que la hacen inapta para el consumo; además, se emplea en la agricultura, industria, aseo personal, minería, salud pública, y casi todas las actividades humanas.

López (1990), señala que el agua químicamente pura es la mezcla de 11,19 partes en peso de hidrógeno y 88,81 de oxígeno, resultando un líquido transparente, inodoro, insípido e incoloro; señala también que el agua no se encuentra pura en la naturaleza, porque en frío se combina con algunos elementos electropositivos como el sodio, potasio, calcio, entre otros y en caliente con otros elementos como el hierro, cobre, entre otros.

2.2.2.1. Fuentes de Abastecimiento de Agua.

Según Spellman y Drinan (2013) y Sierra (2011), las principales fuentes de abastecimiento de agua son las aguas superficiales y las aguas subterráneas, de los cuales las aguas superficiales por efectos de la erosión presenta una alta variabilidad en cuanto a su calidad del agua; y en cuanto a las aguas subterráneas que son las que se encuentran debajo del suelo formando los acuíferos, presentan condiciones de calidad de agua más uniformes y de composición distinta que las aguas superficiales. De otra manera López P (1990) añade otra fuente de abastecimiento, como son las aguas meteóricas, que son catalogadas como puras, carentes de sales minerales, son aguas blandas, con elevados niveles de oxígeno y CO₂, formadas por la lluvia, nieve, granizo, rocío.

2.2.2.2. Calidad del Agua.

La calidad del agua según Marín (2014), es la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos, en el agua, porque según Madrid (2012), el agua tiene un gran poder disolvente y al estar en contacto permanente con los seres vivos e inertes, presenta diversa composición. De igual manera Tamani (2014), explica que la calidad del agua está dada por las características o parámetros físicos, químicos y biológicos del agua, o el contenido de sólidos y gases presentes ya sea en suspensión o en solución.

2.2.2.2.1. Parámetros Físicos.

Sierra (2011), señala como parámetros físicos a aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua.

➤ Color

Para Idrovo (2010) y Marín (2014), el color del agua puede estar ligado a la turbiedad o puede presentarse de manera independiente, el color del agua se da comúnmente por la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos y otros; es estudiado como color aparente, que viene a ser el color que presenta el agua antes de ser filtrada y como color verdadero al color del agua de la muestra que ha sido filtrada.

➤ Sólidos

Los sólidos son de naturaleza orgánica e inorgánica, para facilitar su estudio se clasifican como sólidos suspendidos y los sólidos disueltos; los sólidos suspendidos, viene a ser el material sólido suspendido en una muestra de agua, representada por la cantidad de materia por unidad de volumen de la muestra que es retenida en un filtro de poro de $2\ \mu\text{m}$ o menor; y los sólidos disueltos, es el material disuelto en una muestra, representados por la cantidad de materia por unidad de volumen de la muestra filtrada en un filtro de $2\ \mu\text{m}$ o menor (Pérez, 2010) y (Marín, 2014). Además Cardona (2011) señala, otro tipo de sólidos que son los sólidos sedimentables, que son aquellos que tienden a sedimentarse en condiciones tranquilas principalmente por acción de la gravedad, para su medición se realiza colocando la muestra de agua en un cono Imhoff.

➤ Turbiedad

La turbiedad para Pérez (2010) y Marín (2014), es la propiedad óptica que tiene una muestra de agua de reflejar o absorber un haz de luz; este parámetro impide la incidencia de la luz en forma directa, porque es causada por partículas en suspensión o coloides como producto

de la erosión, entre estas partículas tenemos arcillas, materia orgánica e inorgánica, minerales, bacterias, plancton, y otros microorganismos.

➤ **Conductividad Eléctrica**

El Ministerio de Salud (MINSAs, 2011), señala que la conductividad eléctrica del agua es un valor numérico, de la capacidad que tiene el agua para conducir una corriente eléctrica; este parámetro depende de la presencia de sustancias disueltas ionizadas en el agua y la temperatura a la cual se realice la medición. De igual manera Sierra (2011), sustenta que la conductividad se mide en micromhos/cm o Siemens/cm, la cantidad de iones principalmente de Ca, Mg, Na, P, cloruros, bicarbonatos y sulfatos. Además Marín (2003), sostiene q la presencia de los electrolitos en disolución, depende del tipo de terreno atravesado por el cuerpo hídrico.

➤ **Temperatura**

Por su parte Ecofluidos Ingenieros S.A. (2012), menciona que la temperatura es un parámetro termodinámico del estado del agua, que caracteriza la transferencia de energía o el calor, influye en la presencia de oxígeno en el agua ya que está relacionada con el proceso fotosintético. Del mismo modo Marín (2014), sustenta que la temperatura afecta la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas en el agua, influye en el diseño de la mayoría de los sistemas de tratamiento del agua como la coagulación y la sedimentación.

2.2.2.2.2. Parámetros Químicos.

Sierra (2011), señala que los parámetros químicos son sustancias que se encuentran en el agua gracias a su poder disolvente, y otros son causados por la interacción de estas sustancias.

➤ **Potencial de hidrogeno (pH)**

El pH es la concentración de iones hidrógeno y mide la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa, pudiendo afectar los usos específicos del agua, debido a que este parámetro define la solubilidad de los compuestos (León, et al., 2013). Particularmente Marín (2014), menciona que el pH mide el grado de acidez o de alcalinidad en una escala de 0 a 14, de manera que los valores cercanos a cero indica que el agua es ácida y los valores cercanos a 14 son alcalinos, y se mide en campo o en laboratorio mediante un pH-chímetro.

➤ **Aceites y grasas**

Los aceites y grasas según Delgadillo et al. (2010), son sustancias insolubles en el agua que se encuentran flotando en la superficie formando natas y limitando el intercambio de oxígeno entre el agua y la atmósfera. Asimismo Romero (1999), menciona que los aceites y grasas son aquellas sustancias de carbono, hidrógeno y oxígeno, que provienen de productos grasos como carnes, aceites e hidrocarburos.

➤ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La DBO para Rodríguez (2006) y Delgadillo et al. (2010), es la cantidad de oxígeno que usan los microorganismos heterótrofos para convertir en condiciones aerobias el material orgánico biodegradable presente en la muestra de agua, en dióxido de carbono, agua y productos finales. De esta manera Ronzano y Dapena (2002) hacen hincapié, que la DBO sirve para medir la contaminación orgánica del agua, pero si hay dudas o cuando la DQO vale más del doble de la DBO₅, se debe medir la DBO₅ y la DBO₂₁, las dos se determinan incubando a 20°C; recordando que la DBO₅ mide el material carbonado incubándose durante 5 días, y la DBO₂₁ mide el material nitrogenado, partículas o coloides, incubándose a 21 días.

➤ **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La DQO es la cantidad de oxígeno que se requiere para que la materia orgánica biodegradable o no, sea degradada químicamente (Delgadillo et al., 2010). Se determina con dicromato potásico, a una temperatura de ebullición en una solución ácida, y mediante una relación con la DBO se establece la biodegradabilidad (Ronzano & Dapena, 2002) y (Lopez & Casp, 2004). Particularmente Rodríguez (2006), sustenta que la determinación de la DQO se lleva a cabo mediante la combinación, de ácido sulfúrico como carbonizador del material orgánico y dicromato de potasio para oxidar, a una temperatura de 150 °C de la muestra de agua durante 2 horas; y para medirlo se tiene en cuenta la cantidad de oxidante que se utiliza.

➤ **Alcalinidad**

La alcalinidad del agua se debe a la presencia de sales de ácidos débiles y bases fuertes, estos compuestos sirven como amortiguadoras para resistir la disminución del pH por causa de la adición de ácidos (Cerón, 2016), entre estas sales tenemos a bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos (Cardona, 2011). Este parámetro se reconoce por la presencia de iones OH⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, se determina en laboratorio por titulación y los resultados se expresa en mg/L de CaCO₃ (Sierra, 2011).

➤ **Dureza**

Según Sierra (2011) y Pérez E. (2016), la dureza en el agua es la presencia de cationes bivalentes principalmente Ca^{2+} y Mg^{2+} ; en la que podemos encontrar dureza carbonácea que se debe a la combinación de carbonatos y bicarbonatos con los iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} , así mismo existe la dureza no carbonácea, ocasionada por la presencia en el agua de sulfatos, cloruros o nitratos de Ca^{2+} y Mg^{2+} ; se determina mediante titulación y se expresa en mg/L de CaCO_3 . De otra forma Rodríguez J. (2009), señala que el agua que presenta dureza considerable, no produce espuma con el jabón, altera el color de la ropa produciendo dificultades para lavarla correctamente, se le puede identificar también porque produce una dura costra en las ollas o en los grifos y a veces tiene un sabor desagradable.

➤ **Nitrógeno**

Para Marín (2014) y Delgadillo et al. (2010), el nitrógeno en el agua lo encontramos como nitrógeno amoniacal (amonio y/o amoniaco producto de la desaminación de compuestos nitrogenados e hidrólisis de la urea), nitrógeno orgánico, nitritos (producto de la oxidación del amonio o reducción de los nitratos) y los nitratos (producto de la oxidación biológica de la materia orgánica eliminada por los animales). Por su parte Lopez y Casp (2004), indican que también podemos encontrar el Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), que es la suma del nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico.

➤ **Fósforo**

El fósforo es uno de los nutrientes al igual que el nitrógeno presente en el agua (Lopez & Casp, 2004), procedente de la disolución de rocas, del lavado de las actividades agropecuarias y de las aguas residuales domésticas principalmente (Marín, 2014). Particularmente, Delgadillo et al. (2010), mencionan que el fósforo en el agua lo podemos encontrar como ortofosfato inorgánico disuelto, fósforo orgánico y fósforo en partículas, provenientes de detergentes, lavajillas, fertilizantes, etc.

2.2.2.2.3. Parámetros Microbiológicos.

Según el MINSA (2011), los parámetros microbiológicos son aquellos microorganismos capaces de indicar contaminación o aquellos microorganismos que son patógenos o dañinos para los seres humanos. Por otra parte Sierra (2011), señala que los parámetros microbiológicos son los microorganismos presentes en el agua y pueden ser patógenos y no patógenos. En este contexto Spellman y Drinan (2013), mencionan que en el agua podemos encontrar diferentes tipos de microorganismos entre ellos bacterias, virus (virus

entéricos), protozoos (Entoameba histolytica, Giardia Lamblia, Cryptosporidium, y la Cyclospora), y helmintos (Ascaris lumbricoides, Trichuris trichiura, Ancylostoma duodenale, Necator americanus, Strongyloides stercoralis).

a) Indicadores fecales

Según Marín (2014), los indicadores de contenido fecal en el agua, son aquellos microorganismos que se encuentran en las deyecciones de animales, entre estos tenemos a las enterobacterias (Coliformes, Escherichia, Salmonella, Shigella, Enterobacter, Serratia, Erwinia, Proteus, Yersinia, aeromonas, Vibrio, Photobacterium, Beneckea, y Zymomonas), estreptococos (especies como faecalis, faecium, aviun, bovis, y equinus), Clostridium (especies como la botulinum, perfringens, tetani), Pseudomonas aeruginosa, y estafilococos; y resalta que los indicadores típicos son los coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales.

➤ Coliformes totales

Ecofluidos Ingenieros S.A. (2012), señala que los coliformes totales son bacterias gram negativas, en forma de bacilo no esporulada, no tiene citocromo oxidasa, son aerobias o anaerobias facultativas. Además Sierra (2011) señala, que generalmente viven en el organismo del hombre y los animales, tienen forma redondeada, fermentan la lactosa, y forman gas en 48 horas a una temperatura de 35 °C.

➤ Coliformes fecales

Los coliformes fecales pertenecen al grupo de coliformes, por lo que son bacterias de forma de bacilo no esporuladas gram-negativas, fermentan la lactosa a una temperatura de 44.5 ± 0.2 °C en un tiempo de 24 ± 2 horas produciendo gas y ácido, siendo la especie representativa de este grupo Escherichia coli (Ecofluidos Ingenieros S.A., 2012). Con un enfoque particular Spellman y Drinan (2013), sustentan que los coliformes fecales habitan el intestino de los mamíferos, y llega al agua a través de la escorrentía que arrastra las defecaciones de estos animales.

2.2.2.3. Agua Tratada (Agua para Consumo).

El MINSA (2011), define el agua tratada como toda agua sometida a diferentes procesos ya sea físicos, químicos y biológicos, con la finalidad de transformarla en un producto inofensivo para el consumo humano. Durante esos procesos según Idrovo (2010) y Sierra

(2011), se modifica las características físicas, químicas y biológicas del agua con el objetivo de utilizarla en algún uso específico, en este caso para consumo humano.

Por otra parte Spellman y Drinan (2013), señalan que el agua de consumo se distribuye a una población consumidora, de manera que pueda ser utilizada en diversas actividades como bebida, requerimiento para cocina, lavandería, entre otros; para lo cual dicho líquido debe cumplir con la legislación vigente para agua de consumo de cada país, en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

A continuación se muestran en la tabla 2 los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua de uso poblacional y recreacional, teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos para la producción de agua potable, en la tabla 3 los límites máximos permisibles (LMP) de los parámetros organolépticos ideales para agua de consumo humano y en la tabla 4 los estándares de calidad para agua potable (ECA) internacionales según la Agencia de Protección Ambiental (EPA)

Tabla 2.

Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua destinada al consumo humano en el Perú respecto a los parámetros fisicoquímicos.

Parámetros	Unidad de medida	A1 Aguas potabilizadas con desinfección	A2 Aguas potabilizadas con tratamiento convencional	A2 Aguas potabilizadas con tratamiento avanzado
Potencial de hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6.5 a 8.5	5.5 a 9	5.5 a 9
Sólidos totales disueltos (TDS)	mg/L	1000	1000	1000
Turbiedad	UNT	5	100	**

Nota. Datos extraídos de Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017).

Tabla 3.

Límites máximos permisibles (LMP) de parámetros de calidad organoléptica en el Perú.

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5.0
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad (25°)	µmho/cm	1500.0

Nota. Datos extraídos de Ministerio de Salud (MINSa, 2011)

Tabla 4.

Estándares de calidad de agua potable (ECA) internacionales según la agencia de protección ambiental (EPA).

Parámetros	Unidad de medida	Valor estándar
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Sólidos disueltos totales	mg/L	500

Nota. Datos extraídos de Environmental Protection Agency (EPA, 2018)

2.2.3. Depuración de las Aguas.

Moreno et al. (2003) y Marín (2013), señalan que la depuración de aguas es la conservación de un ambiente acuático aceptablemente limpio, para lo cual se tiene que eliminar las sustancias contaminantes presentes en el agua, a través de diferentes técnicas o métodos que dependen de la naturaleza de las aguas, y como Moreno et al. (2003) menciona que depende también del uso futuro en particular. Particularmente Marín (2014), sustenta que existe una serie de operaciones ya sea fisicoquímicas o microbiológicas, para eliminar las sustancias no aptas para un uso determinado.

2.2.3.1. Coloides.

Aldana (2012), define a los coloides como las partículas presentes en el agua con un diámetro entre 1 y 1 000 mil micrómetros, están eléctricamente cargadas, son los responsables principales de ocasionar turbiedad, con un comportamiento dependiente de su naturaleza y origen. En este sentido, Nemerow y Dasgupta (1998) sostienen que los coloides son no precipitables por el efecto de su carga, pequeño tamaño, reducido peso y son los responsables de la turbiedad, color y la DBO de los vertidos industriales. Asimismo, Marín (2013) menciona que los coloides presentan diferentes formas como esférica, elipsoidal, filamentosa, semiesférica y de forma indeterminada como los microorganismos; señala también que la forma puede variar debido a las interacciones ya sea de tipo eléctrico, entre partículas, y las interacciones entre las partículas y el agua.

2.2.3.1.1. Tipos de Coloides.

Para Aldana (2012) y Marín (2013), existen dos tipos de coloides en el agua: los coloides hidrófobos que son insolubles en el agua, formados principalmente por arcillas y óxidos metálicos, y por otra parte tenemos los coloides hidrófilos que son solubles o presentan afinidad por el agua y están formados principalmente por ácidos nucleicos, proteínas, almidones y otros. Particularmente Nemerow y Dasgupta (1998), mencionan que los coloides

hidrofóbicos o liofóbicos presentan tensión superficial similar al agua, viscosidad despreciable, no se reconstituyen solos después de una deformación, se coagula con facilidad al estar en contacto con electrolitos; mientras que los coloides hidrofílicos o liofílicos, presentan tensión superficial menor que el agua, la viscosidad del agua aumenta en su presencia, se reconstituye fácilmente, poca sensibilidad a los electrolitos. De otro modo Marín (2013), sustenta que los coloides asociados constituyen otro tipo de coloides, ya que se encuentran asociados con otras moléculas como detergentes, tensoactivos, grasas y aceites.

2.2.3.1.2. Propiedades de los Coloides.

Según Aldana (2012), los coloides tienen diferentes propiedades entre ellas: la propiedad cinética, que señala que el movimiento de los coloides en el agua se puede dar mediante el movimiento browniano, por difusión en el agua, por ósmosis o por transporte del coloide por el agua; la propiedad óptica, que es el fenómeno por el cual los coloides producen la dispersión de la luz cuando esta pasa a través de ellos; la propiedad electrocinética, dice que las partículas coloidales están eléctricamente cargadas tanto negativa como positivamente, produciendo atracción o repulsión entre ellos; y la propiedad de superficie, sustenta que los coloides tienen una gran superficie específica lo que por consiguiente tiene un gran potencial de adsorción y no se sedimentan fácilmente.

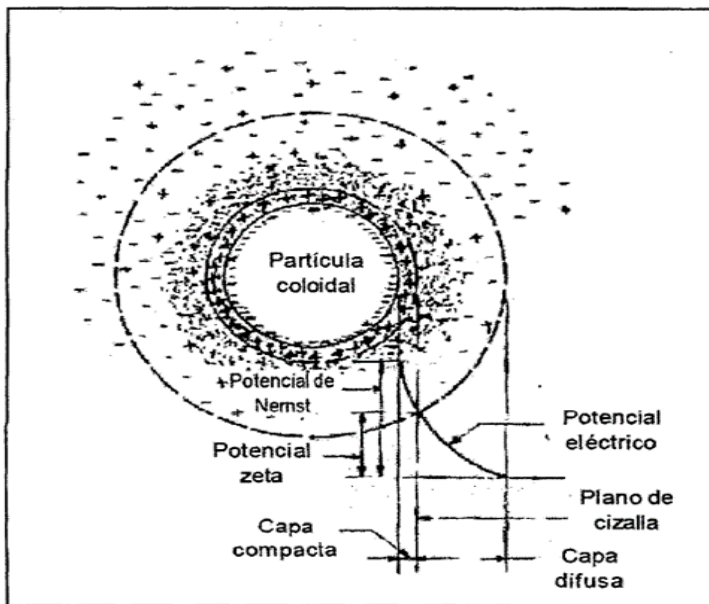
2.2.3.1.3. Estabilidad de los Coloides.

Aldana (2012), señala que entre las fuerzas de estabilización o desestabilización entre coloides, se menciona a la carga de los coloides y la hidratación, intervienen también en este proceso la gravedad, el movimiento browniano, y la fuerza de Van der Waals. En este contexto Restrepo (2009), sostiene que los coloides tienen cargas eléctricas que normalmente son negativas, lo que generan fuerzas de repulsión entre ellas, y permanecen en suspensión. En este sentido Aldana (2012), sustenta que el sistema coloidal al presentar una carga superficial negativa, es neutralizada con los iones del agua que presentan carga contraria, de esta manera un coloide negativo cuenta con una nube de iones positivos a su alrededor, en la región sólido-líquido, los cuales junto con la carga negativa de la partícula forman la capa compacta; luego los iones negativos próximos a la capa compacta atraen a los iones positivos, produciendo una elevada concentración de cationes muy cercanos a la superficie, originando la capa de Stern, a partir de la cual se crea la capa difusa que incluye a la capa compacta, como se muestra en la Figura 1.

Por otro lado Marín (2013), menciona que la estabilidad está dada también por la doble capa eléctrica, que está conformada por la capa de Stern y la capa difusa, la primera que permanece fija al coloide y es donde se produce la caída de potencial dependiendo del coloide y del agua; y la segunda se encuentra en la parte acuosa, donde la agitación térmica produce la uniformidad en la distribución de los iones tanto positivos como negativos en la superficie, de manera que se produce una caída de potencial denominado “potencial Z”.

Figura 1.

Configuración esquemática de la doble capa eléctrica



Nota. Adaptado de Configuración Esquemática de la Doble Capa Eléctrica, por Aldana, 2012, http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3387/1/aldana_re.pdf.

2.2.3.2.Coagulación.

La coagulación es un procedimiento que tiene por finalidad desestabilizar las partículas coloidales y transformarlos en partículas de mayor tamaño que sean capaces de sedimentar mediante la adición de coagulantes (Marín, 2013). De esta manera Spellman y Drinan (2013) y Restrepo (2009), señalan que mediante la adición de productos coagulantes se anula las fuerzas de repulsión entre las partículas coloidales y empiezan a formar partículas de mayor tamaño. Del mismo modo Chulluncuy (2011), señala que la adición de coagulantes se realiza durante la mezcla rápida, y la eficiencia de coagulación depende de la dosis del coagulante aplicado y del pH al final de la mezcla.

2.2.3.2.1. Mecanismos de la coagulación.

Domínguez (2010), menciona que el mecanismo de coagulación se da mediante la compresión de la doble capa, adsorción y neutralización de la carga, adsorción y formación de puentes interparticulares y por barrido.

a) Compresión de la doble capa eléctrica

Domínguez (2010), afirma que la doble capa está formada por la capa de Stern y la capa difusa, y para que la doble capa se comprima se añade iones cargados contrariamente, de tal manera que reduzcan la energía que utilizan las partículas para el movimiento, permitiendo que las partículas se junten. Con lo que Nemerow y Dasgupta (1998) y Restrepo (2009) indican, que al incrementar la concentración de iones en el agua, se reduce el valor del potencial zeta por debajo del punto crítico, ya que por encima de este los coloides son estables y por debajo son inestables. Además Aldana (2012), sustenta que al añadir un ión indiferente en un sistema coloidal, ocasiona un aumento de la densidad de las cargas en la capa difusa, lo que para mantenerse neutra reduce su volumen, y por ende se elimina la estabilidad de los coloides.

b) Adsorción y neutralización de la carga de los coloides

La coagulación por neutralización de carga se desarrolla cuando los iones de signos diferentes se mezclan en el agua (Restrepo, 2009), específicamente Domínguez (2010) señala que este proceso, se da cuando los iones con carga contraria del coagulante se adhieren en la superficie de la partícula, neutralizando las cargas repulsivas, o si se añade cantidades excesivas de iones de carga contraria pueden producir una reestabilización. Para que se de este proceso Marín (2013), sustenta que se debe realizar agitación.

c) Adsorción y formación de puentes entre coloides

La adsorción y formación de puentes interparticulares, se produce cuando se agrega un polímero que reacciona con un segmento de la zona superficial de los coloides y la parte que no reacciona se desplaza hacia la solución acuosa que puede adherirse a otra partícula estableciéndose el puente (Domínguez, 2010) y (Marín, 2013). En ese sentido Aldana (2012), mediante la Teoría de Lamer explica este mecanismo, a través de una sustancia polimérica, que presenta ciertos grupos que interactúan con la superficie de los coloides y el sobrante del polímero se dilata hacia el agua, de forma que si existe una segunda partícula coloidal con algunos lugares de adsorción se realiza la unión entre estos coloides; esta teoría hace mención también, que si no hay disposición de una segunda partícula coloidal se produce la

reestabilización o no habrá formación de puente, debido a que los segmentos del polímero pueden adsorberse en la misma partícula, así mismo la reestabilización de los coloides también puede darse por el exceso de sustancias poliméricas agregadas al agua y por una agitación intensa.

d) Barrido

El proceso de barrido consiste en que los coloides son envueltos mediante los precipitados de hierro y aluminio, produciéndose flóculos capaz de sedimentar (Aldana, 2012) y (Dominguez, 2010).

2.2.3.2.2. Factores que Intervienen en el Proceso de Coagulación.

Según Restrepo (2009), los factores que intervienen en el proceso de coagulación son los siguientes: valencia (mientras tenga mayor valencia el coagulante será más efectivo), capacidad de cambio (tendencia de las partículas a intercambiar cationes de menor valencia por otros de mayor valencia), tamaño de partícula (partículas de 1 a 5 micras son incorporadas en el floc y las de mayor tamaño no), temperatura (en tanto más fría sea el agua la formación del floc tomará mayor tiempo), pH (se requiere un pH óptimo en la cual la coagulación se da en un periodo más corto), relación cantidad-tiempo (son inversamente proporcionales), y la alcalinidad.

2.2.3.2.3. Coagulantes Químicos.

a) Sales de aluminio

Entre los coagulantes químicos utilizados para el tratamiento del agua tenemos al sulfato de aluminio, aluminato de sodio (Bravo, 2017), el sulfato de aluminio amoniacal (Restrepo, 2009), cloruro de aluminio (Pancca, 2016), y alumbre potásico (Lazo, 2010).

b) Sales de hierro

Entre las sales de hierro tenemos al cloruro férrico (Lazo, 2010) y (Nemerow & Dasgupta, 1998), sulfatos de hierro ya sea férrico o ferroso (Restrepo, 2009) y cloruro sulfato férrico (Lopez & Casp, 2004).

c) Sustancias poliméricas

Estas sustancias son compuestos complejos con alto peso molecular ayudando en la coagulación (Restrepo, 2009), entre estas tenemos a las poliácridamidas (Marín, 2003), ácido acrílico (Bravo, 2017), y los policloruros de aluminio (Cogollo, 2011).

2.2.3.2.4.Coagulantes Naturales.

Entre los agentes naturales utilizados como coagulantes tenemos a los tallos de *Hylocereus triangularis*, corteza de *Guazuma ulmifolia*, semillas de *Moringa oleífera* (et al., 2014), cristales de sábila, nuéz, semilla de mango dulce, cáscara de mandarina, fruto de guatila, semilla de tamarindo, fruto de pitahaya (Zamudio et al., 2015), *Cactus lefaria*, *Opuntia ficus-indica*, *Plantago psyllium*, *Malva sylvestris*, *Hibiscus esculentus* (Ramírez & Jaramillo, 2015), las cáscaras de papa (Alvarado, 2012), almidón de *Manihot Esculenta Crantz* conocida como yuca, algas marinas como *Chlorophyta*, *Phaeophyceae* y *Rhodophyta* (Molina, 2016) y almidón de plátano (Trujillo et al., 2014).

2.2.3.3.Floculación.

Spellman y Drinan (2013) y Chulluncuy (2011), definen la floculación como el mecanismo por el cual los coloides desestabilizados chocan entre sí y se juntan formando los flocs, y para que se lleve a cabo esta unión Spellman y Drinan (2013) señalan que es necesario mantener una agitación suave durante un tiempo prudencial. En ese sentido Díaz (2014), señala que la agitación de la masa coagulada permite el crecimiento, la aglomeración, aumento de peso y tamaño de los flocs, para poder sedimentar por gravedad.

2.2.3.3.1.Mecanismos de Transporte en la Floculación.

a) Sedimentación diferencial

Es un mecanismo por el cual las partículas al precipitar por el peso y por acción de la gravedad, chocan con las partículas de menor tamaño que van precipitando lentamente, por lo que ambas se aglomeran (Díaz J. N., 2014).

b) Floculación percinética

Díaz (2014), hace mención que la floculación percinética se debe al movimiento natural de las moléculas que componen el agua, en ese sentido Domínguez (2010) y Marín (2013), señala que se debe al movimiento browniano de las partículas del agua, que se produce de forma muy lenta.

c) Floculación ortocinética

Este tipo de floculación se produce por los choques de las partículas del agua, debido al movimiento del agua o debido a una energía exterior ya sea de origen hidráulico o mecánico (Díaz J. N., 2014). En este sentido Marín (2013), sostiene que esta forma de floculación se da

por el efecto de inducción de la mezcla, y Domínguez (2010) sustenta, que se realiza por el gradiente de velocidad generado por la disipación de energía mecánica o hidráulica.

2.2.3.3.2. Factores que Influyen en la Floculación

a) Naturaleza del agua

La floculación es muy sensible a los parámetros fisicoquímicos del agua no tratada, tales como el pH, la alcalinidad, la turbiedad (Aldana, 2012), al mismo tiempo Domínguez (2010), señala que el tiempo óptimo de floculación también puede verse afectados por estos parámetros.

b) Tiempo de mezcla lenta

Por su parte Domínguez (2010), señala que la rapidez con que se aglomeran los coloides es directamente proporcional al tiempo de mezcla lenta en los floculadores, no lográndose resultados favorables si el tiempo de mezcla está por encima o por debajo del óptimo. En este sentido Aldana (2012), menciona el tiempo óptimo de mezcla oscila entre 20 y 40 minutos, mientras que Spellman y Drinan (2013), sostienen que se requiere una agitación lenta durante un periodo de 30 minutos, señalando que cuanto más persistente sea el flóculo y exista una concentración alta de sólidos suspendidos se requiere un mayor periodo de tiempo de mezcla.

c) Gradiente de velocidad

Según Domínguez (2010), para tener una mayor rapidez de aglomeración de los coloides es importante modificar el gradiente de velocidad, porque influye en la permanencia de los flóculos. En este sentido Aldana (2012), señala que con gradientes de velocidad altos en los primeros compartimientos, ocasionan una aglomeración mucho más rápida de los flóculos, mientras que con gradientes de velocidad más bajos en los últimos compartimientos, reducen la fragmentación de los flóculos. Por eso Spellman y Drinan (2013), recomienda que el gradiente de velocidad debe fijarse de manera cautelosa y con un intervalo estrecho, para que los flóculos no se rompen cuando la velocidad es muy elevada.

d) Variación de caudal

Aldana (2012), señala que al realizar una variación del caudal de operación de la planta, se produce una modificación del tiempo de permanencia en el floculador y del gradiente de velocidad.

2.3.Marco Conceptual

- **Agua:** sustancia formada por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrogeno que se encuentra en distintos puntos de la tierra en forma líquida, sólida y gaseosa, que sirve para el desarrollo de los organismos vivos.
- **Calidad del agua:** conjunto de características o parámetros de tipo físico, químico y biológico presentes en el agua.
- **Coagulación:** proceso de desestabilización de las partículas coloidales en el agua mediante la introducción de un coagulante.
- **Coloide:** partículas de naturaleza orgánica e inorgánica de tamaño micro, presentes en el agua y se encuentran cargadas eléctricamente, se encuentran suspendidas debido a su tamaño y carga, produciendo turbiedad y DBO en el agua.
- **Floculación:** proceso mediante el cual las partículas coloidales desestabilizadas se juntan lentamente hasta formar una partícula de mayor tamaño y peso que sea capaz de sedimentar por gravedad.
- **Mucílago:** polímero con cierta complejidad formado por carbohidratos de alto peso molecular que permite la aglomeración de partículas en el agua.
- **Turbidez residual:** turbidez medida después de aplicar el ensayo de prueba de jarras.
- **pH residual:** pH medido después de aplicar el ensayo de prueba de jarras.
- **Conductividad residual:** Conductividad medida después de aplicar el ensayo de prueba de jarras.
- ***Opuntia macbridei*:** Especie vegetal de la que se extrae el mucílago.

- **Extracto:** Solución preparada a base de agua destilada con mucílago en polvo.
- **Jar test:** Ensayo de prueba de jarras para conocer la efectividad de algún tratamiento de agua.

CAPITULO 3.

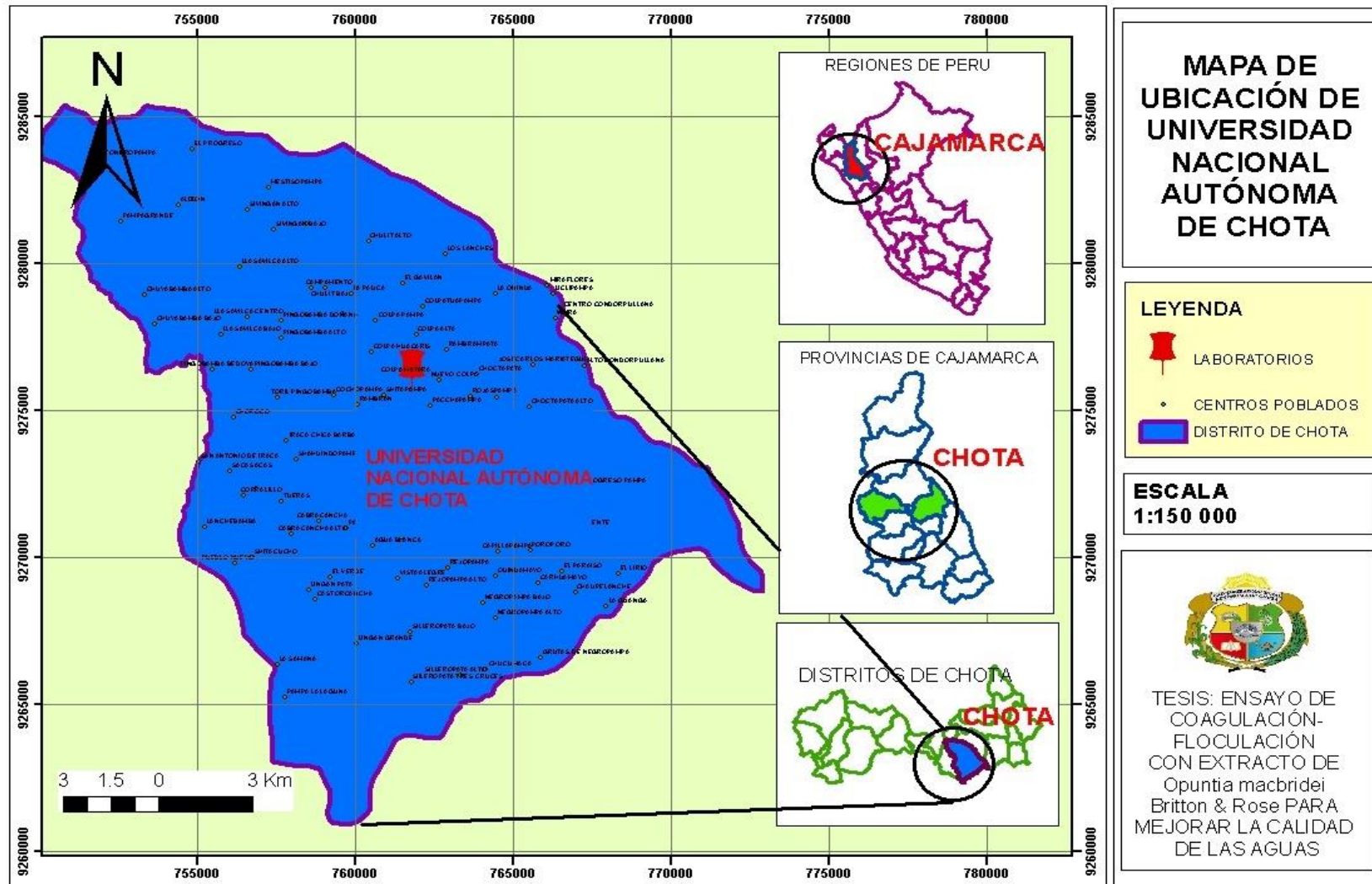
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

La presente investigación se ejecutó en el laboratorio de aguas y el laboratorio de geobotánica, de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, ubicado en el centro poblado de Colpamatará, distrito y provincia de Chota, Región de Cajamarca-Perú, ubicado a 2611msnm y entre las coordenadas UTM, Este: 761846 y Norte:9276333, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2.

Mapa de ubicación del trabajo de tesis



3.2.Población y Muestra

3.2.1.Población.

Todas las muestras de agua con diferentes concentraciones de turbiedad elaboradas en el laboratorio.

3.2.2.Muestra.

La muestra está determinada por la cantidad de agua preparada a 15, 50, 100, 200, 300 y 400 NTU, que se requirió para realizar los ensayos de prueba de jarras en el laboratorio, siendo un total de 28,8 L de agua como se explica en el apartado 3.4.4.

3.3.Equipos, Materiales e Insumos

En la tabla 5 se muestra los equipos, materiales e insumos utilizados:

Tabla 5.

Equipos, materiales e insumos usados

Equipos	Materiales	Insumos
Conductímetro	Vasos de precipitación	Cladodio de <i>Opuntia macbridei</i>
pH-metro	Placa petri	Agua destilada
Turbidímetro	Pipeta volumétrica	Suelo arcilloso
Estufa	Jeringas	
Balanza analítica	Tablero	
Agitador múltiple	Lapicero	
Laptop	Libreta	
Cronómetro	Baldes de plástico	
Cámara fotográfica	Tamiz de 600 um	
Licuadora	Mortero	
GPS	Cuchillos	
	Cinta adhesiva	

3.4.Metodología de la Investigación

3.4.1.Tipo de Investigación.

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental.

3.4.2.Enfoque de Investigación.

Este trabajo de investigación se ejecutó siguiendo un enfoque cuantitativo.

3.4.3.Variables de Estudio.

En la Tabla 6 se muestra la Operacionalización de variables y en el Anexo1 se muestra la matriz de consistencia de la presente investigación.

Tabla 6.*Operacionalización de variables*

variables	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	
			indicador	índice
Variable independiente: Extracto de <i>Opuntia macbridei</i>	Solución coagulante-floculante preparado a base de agua destilada y mucílago en polvo extraído de los cladodios de <i>Opuntia macbridei</i> .	Factores influyentes en la acción coagulante-floculante	Turbiedad	NTU
			Dosis de extracto	mg/L
Variable dependiente: El agua	Sustancia compuesta por oxígeno e hidrógeno, y por estar en contacto con la naturaleza, presentan diferentes características o parámetros que definen su calidad.	Parámetros físicos	Turbiedad	NTU
			Conductividad	μS/cm
		Parámetros químicos	pH	Escala de pH

3.4.4. Diseño de Investigación

Baddi et al. (2007), mencionan que los diseños aleatorios con arreglo factorial, son usados para conocer la influencia e interacción entre dos o más factores así como entre los diferentes niveles de los factores. En este sentido para el presente trabajo de investigación se usó un diseño experimental aleatorio con arreglo factorial de 6x6, donde un factor (factor A) estuvo conformado por 6 niveles de turbiedad inicial de agua (15, 50, 100, 200, 300 y 400 NTU), y el otro factor (factor B) estuvo conformado por 6 dosis de mucílago (25, 50, 100, 150, 200, y 250 mg/L), resultando en total 36 tratamientos y con tres repeticiones por tratamiento resultó 108 unidades experimentales de 200 mL de agua, como se muestra en la Tabla 7; además por cada nivel de turbiedad inicial del agua preparada y por cada dosis, se utilizó un control de 200 mL de agua y 0 mg/L de mucílago.

Tabla 7.*Tratamientos aplicados en la investigación*

Tratamientos			
A1B1	A2B4	A4B1	A5B4
A1B2	A2B5	A4B2	A5B5
A1B3	A2B6	A4B3	A5B6
A1B4	A3B1	A4B4	A6B1
A1B5	A3B2	A4B5	A6B2
A1B6	A3B3	A4B6	A6B3
A2B1	A3B4	A5B1	A6B4
A2B2	A3B5	A5B2	A6B5
A2B3	A3B6	A5B3	A6B6

Nota.

Factor A: Turbiedad inicial

- A1: 15 NTU, A2: 50 NTU, A3: 100 NTU, A4: 200 NTU, A5: 300 NTU, A6: 400 NTU

Factor B: Dosis aplicada

- B1: 25 mg/L, B2: 50 mg/L, B3: 100 mg/L, B4: 150 mg/L, B5: 200 mg/L, B6: 250 mg/L

3.4.5. Preparación del Extracto Coagulante-Floculante (Mucílago) de *Opuntia macbridei*.

Para la preparación del extracto de *Opuntia macbridei* se utilizó cladodios jóvenes y con mejores características físicas, traídos del distrito de Chimbán, provincia de Chota, Región Cajamarca, a una altitud de 954 msnm y entre las siguientes coordenadas UTM: 775580E y 930 8618N (Figuras 25, 26, 27, 28).

Para extraer la sustancia coagulante-floculante se modificó el procedimiento empleado por Bouatay y Mhenni (2014), en el que los cladodios se lavaron con agua destilada para eliminar las impurezas de estos, se cortaron en trozos pequeños para después ser triturado en una licuadora doméstica (Figuras 29, 30 y 31), luego se dejó secar durante 48 horas a una temperatura de 60 °C (Figuras 32 y 33), se pulverizó con un mortero manual y se pasó por un tamiz de 600 µm (Figuras 34 y 35). Después de realizar esta operación, con el mucílago en polvo y agua destilada, se preparó el extracto coagulante-floculante a 4 000 mg/L (Figura 36).

3.4.6. Preparación de las Muestras de Agua a Tratar.

Para preparar las muestras de agua se tuvo como referencia al río Conchano, que alcanza 14,43 NTU (Díaz W., 2016), el río Amazonas que alcanza los 300 NTU (Armijos, 2010), y el río Rímac que alcanza una turbiedad de 403,2 NTU (Flores, 2017). En este sentido se preparó muestras de agua a 15 NTU, 50 NTU, 100 NTU, 200 NTU, 300 NTU y 400 NTU.

Las muestras de agua se prepararon a la turbiedad deseada siguiendo la metodología propuesta por Camargo y Cruz (1990), que consiste en modificar la calidad del agua destilada al agregar arcilla en proporción de 5 en 1, de ahí se va diluyendo hasta obtener una muestra de agua a la turbiedad deseada; la arcilla según Santos et al. (2009), presenta en su composición química SiO₂ (46 a 66%), Al₂O₃ (19 a 30%), Fe₂O₃ (5 a 7%), K₂O (0,6 a 2%), SO₃ (1,1 a 1,3), TiO₂ (0,7 a 1,2%), MgO (0,1 a 0,3%), V₂O₅ (0 a 0,1), P₂O₅ (0,1 a 0,7%), CaO (0 a 0,5%), ZrO (0 a 0,1%), CO₂ (6 a 9,4%) y Na₂O (menor a 0,1%). Es así que para este trabajo se empleó como primer paso 2kg de suelo arcilloso (ver Anexo 10) de los alrededores de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (ubicado a una altura de 2630 msnm y en las coordenadas UTM: 762212 E y 9276298 N) (Figura 37) y 10 litros de agua destilada (Figura 38), luego se fue diluyendo en agua destilada hasta obtener las turbiedades de 400 NTU (Figura 54), 300 NTU (Figura 52), 200 NTU (Figura 50), 100 NTU (Figura 48), 50 NTU (Figura 46), y 15 NTU (Figura 44).

3.4.7. Dosificación con el Extracto Coagulante-Floculante

Para realizar la dosificación con el extracto coagulante-floculante a los diferentes niveles de turbidez, se tuvo en cuenta las dosis óptimas obtenidas con mucílago de *Opuntia ficus-indica* por Aguirre et al. (2017) que obtuvieron dosis óptimas de 20 mg/L, 50 mg/L y 100 mg/L para turbiedades iniciales de 92,30 a 179,40 NTU y pH de 7,41 a 8,52; Olivero et al. (2013) que obtuvo una dosis óptima de 40 mg/L para una turbidez inicial de 276 NTU y un pH inicial de 7,2; y Villabona et al. (2013) que obtuvo una dosis óptima de 90 mg/L para una turbiedad inicial de 170,96 NTU y un pH inicial de 7,8. Además, Benjumea et al. (2018) mencionan que la calidad del agua varía de acuerdo al espacio y al tiempo, y Montoya et al. (2012) señalan que hay una alta correlación entre la turbiedad inicial del agua y las dosis de los coagulantes; en este sentido se dosificó las muestras de agua con 25 mg/L, 50 mg/L; 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L y 250 mg/L de extracto coagulante-floculante (Figura 39).

3.4.8. Ensayo en Laboratorio para Determinar la Eficiencia del Extracto de *Opuntia macbridei* Mediante el Jar Test

Para determinar la eficiencia del extracto se usó el método de prueba de jarras o jar test, teniendo en cuenta el manual I: Teoría, Tomo I del tratamiento de agua para consumo humano: plantas de filtración rápida, de la Organización Panamericana de la Salud y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2004), y el método usado por

Quiróz et al. (2010). Por lo que, una vez dosificado los vasos de precipitación de acuerdo a la Tabla 7, se siguió el siguiente procedimiento:

- ✓ Se sometió a 100 rpm por un minuto en el agitador múltiple (Figura 40).
- ✓ Luego se sometió a 30 rpm durante 30 minutos en el agitador múltiple (Figura 41).
- ✓ Se reposaron los vasos durante 2 horas para sedimentar (Figura 41).
- ✓ Y finalmente se midió la turbidez, pH y Conductividad residuales (Figuras 42 y 43).

3.4.9. Análisis Físicoquímico del Agua.

Se midieron los parámetros iniciales y residuales de turbidez, pH y conductividad; es decir, se midieron estos parámetros antes y después de realizar el ensayo de prueba de jarras (ver Anexo 2).

3.4.9.1. Determinación de la Turbiedad por Nefelometría.

Para determinar este parámetro se siguió el método 180.1 EPA, en el cual la turbidez se determinó en el menor tiempo posible, para lo cual antes de su análisis se agitó, se eliminó las burbujas y las partículas grandes, se vertió en una cubeta graduada, luego la cubeta se colocó en la celda del turbidímetro y se leyó directamente la turbiedad en NTU. Además, se determinó la eficiencia de remoción de turbidez, que se determinó de acuerdo a la ecuación propuesta por Contreras et al. (2015):

$$\% = \frac{\text{TR Control} - \text{TR muestra}}{\text{TR Control}} \times 100$$

Donde:

%: Eficiencia de remoción de turbidez

TR: turbidez residual

3.4.9.2. Análisis de la Conductividad por Conductimetría.

Para realizar la determinación de este parámetro se siguió el método 2510-B APHA, AWWA, WEF, para lo cual se recogió 50 ml de muestra de agua en un vaso de precipitación, se colocó el conductímetro en la muestra y se tomó la lectura directamente en el conductímetro.

Finalmente como los LMP y ECA para este parámetro están en diferentes unidades a lo analizado en el laboratorio, se usó las equivalencias: $1\mu\text{S}/\text{cm} = 1\mu\text{mho}/\text{cm}$ y $2\mu\text{S}/\text{cm} = 1\text{mg}/\text{l}$ de sólidos totales disueltos (TDS).

3.4.9.3.Potencial de hidrógeno por Potenciometría.

Para determinar este parámetro se siguió el método 4500-H APHA, AWWA, WEF, para lo cual se recogió 50 ml de muestra de agua en un vaso de precipitado, luego se sumergió el bulbo del pH-metro en la muestra y se tomó la lectura que el equipo arroja.

3.5.Análisis Estadístico

Considerando que se realizaron tres réplicas por cada tratamiento, se determinó el coeficiente de variabilidad, se ejecutó la prueba de comparación de medias a un 95 % de confianza, mediante el análisis de variancia Multivariado de dos factores y el método de Diferencia Significativa Honesta de Tukey en el software SPSS estatics 25; además se hizo un análisis de regresión múltiple cuadrática con un 95% de confianza mediante el software Microsoft Excel.

CAPITULO 4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta los resultados y discusiones de la presente investigación, en primer lugar se muestra la caracterización de las muestras de agua antes de entrar en contacto con el extracto coagulante-floculante de *Opuntia macbridei*, luego por cada nivel de turbidez inicial se muestra un análisis de la variación de los parámetros del agua (Turbidez, pH y conductividad eléctrica) después de la depuración del agua con el extracto.

4.1. Caracterización del Agua Preparada: pH y Conductividad

En la Tabla 8, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua que se preparó a diferentes niveles de turbiedad, que se usó para depurar:

Tabla 8.

Caracterización del agua preparada a diferentes niveles de turbidez inicial

Parámetro	Turbiedad (NTU)	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
Muestras de agua	15	7,8	48
	50	7,8	129
	100	7,9	130
	200	8,0	240
	300	8,1	325
	400	8,0	428
ECA Perú	5	6,5-8,5	2000
LMP Perú	5	6,5-8,5	1500
ECA internacional según EPA	5	6,5-8,5	1000

Entre los resultados mostrados en la Tabla 8, el pH y la conductividad, no superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) nacionales y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacionales e internacionales; sin embargo el único parámetro que excede esta normativa es la turbiedad. Asimismo, en la Tabla 8 se observa que a medida que incrementa la turbidez en el agua aumenta también la conductividad eléctrica, coincidiendo con López (2018), quien menciona que el incremento de la turbidez en el agua puede incrementar la conductividad eléctrica del agua, debido al aumento de material sólido en el agua.

4.2. Evaluación de los Parámetros Fisicoquímicos Residuales del Agua

Durante el ensayo de prueba de jarras (jar test), se evaluó antes y después los parámetros de pH, turbidez, y conductividad eléctrica, además se usó un control o testigo. Todo esto con

el fin de analizar el efecto coagulante-floculante del extracto de *Opuntia macbridei*, como a continuación se detalla:

4.2.1. Turbidez Residual y Eficiencia de Remoción de Turbidez

4.2.1.1. Resultados para una Turbidez Inicial de 15 NTU.

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos en el jar test para una turbidez inicial de 15 NTU:

Figura 3.

Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 15 NTU

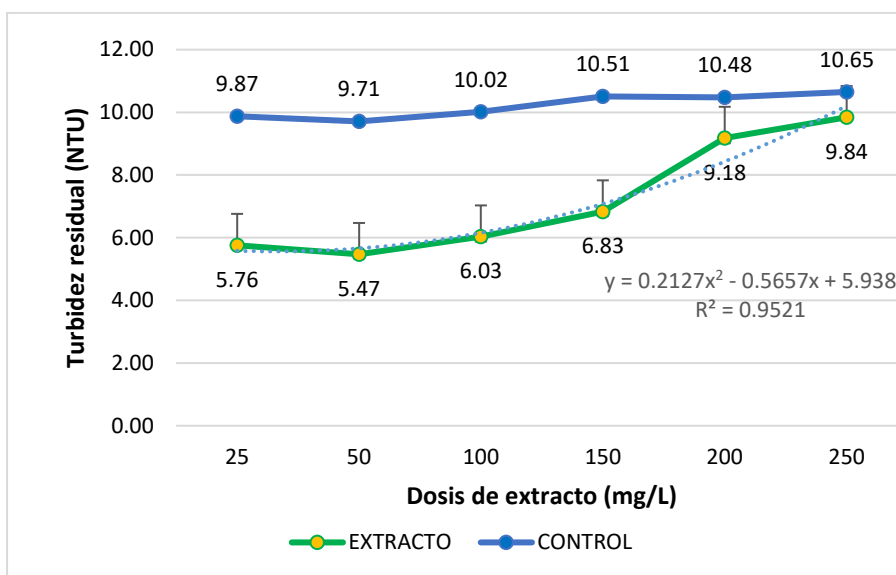
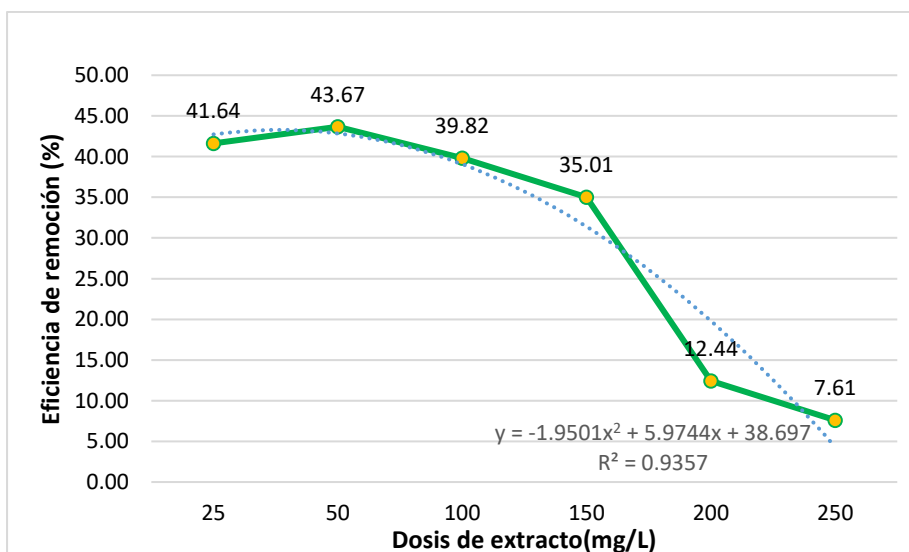


Figura 4.

Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 15 NTU



En las figuras 3 y 4, se muestra que para una turbidez inicial del agua a 15 NTU la dosis óptima del extracto coagulante-floculante es 50 mg/L, con la cual hubo una turbidez residual de 5,47 NTU (Figura 3) y 43,67 % de eficiencia de remoción de turbidez (Figura 4). Estos resultados exceden el LMP nacional y ECA nacional e internacional (5 NTU); sin embargo, la diferencia es mínima para alcanzarlos (0,47 NTU del LMP y ECA). Asimismo, se acercan a los obtenidos por Jiménez et al. (2012), quienes aplicaron la *Opuntia cochenillifera* como coagulante-floculante en aguas entre 18 y 22 FTU (Unidades de Turbidez de la Formacina), obteniendo una turbidez residual entre 1 y 5 FTU, al aplicarse una dosis de 45 mg/L; asimismo, se concuerda con Quiróz et al. (2010), quienes señalan que aplicando la especie de *Opuntia ficus-indica* como coagulante en muestras de agua con 20 NTU, se obtiene una eficiencia de remoción inferior al 50%.

Con los resultados mostrados en las Figuras 3 y 4, se puede afirmar que el extracto de *Opuntia macbridei* no presenta una eficiencia alentadora de remoción de turbidez cuando el agua presenta una turbidez inicial baja (Figura 45), debido probablemente a que existe poca cantidad de partículas coloidales en suspensión y por ende se encuentran mas dispersas en el agua; razón por la cual, el coagulante-floculante aplicado no logra desestabilizar los coloides mediante el efecto “puente”, al contrario las reestabiliza a medida que se aumenta las dosis. En este sentido Otero (2006) y Marín (2013), mencionan que cuando existe poca cantidad de partículas coloidales en suspensión en el agua y las dosificaciones son grandes como para saturar las superficies de los coloides, produce la reestabilización de los coloides y por ende no se forma el puente coloide-polimero-coloide, por la carencia de partículas coloidales y por la carencia de superficies de los coloides respectivamente.

4.2.1.2. Resultados para una Turbidez Inicial de 50 NTU.

A continuación se muestran los resultados para una turbidez inicial de 50 NTU:

Figura 5.

Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 50 NTU

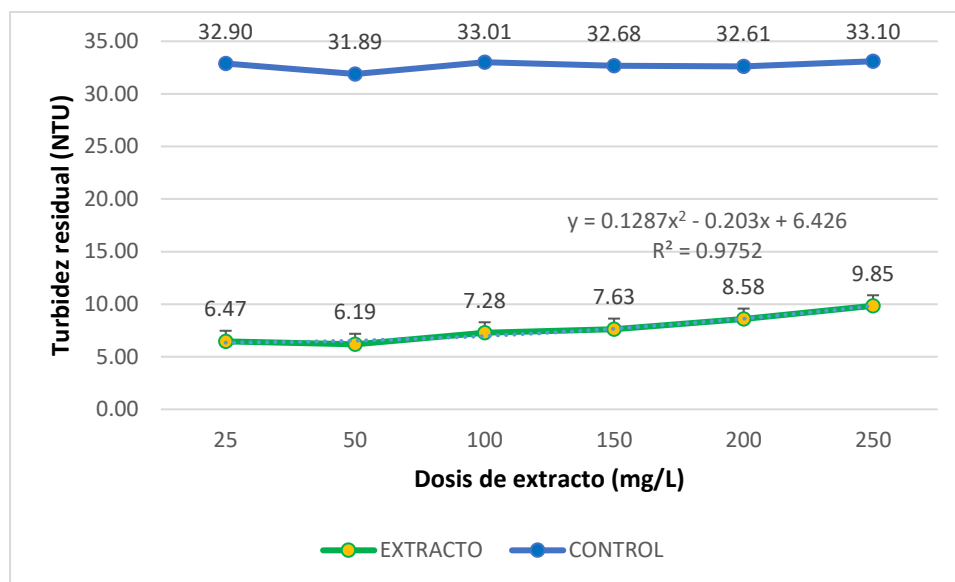
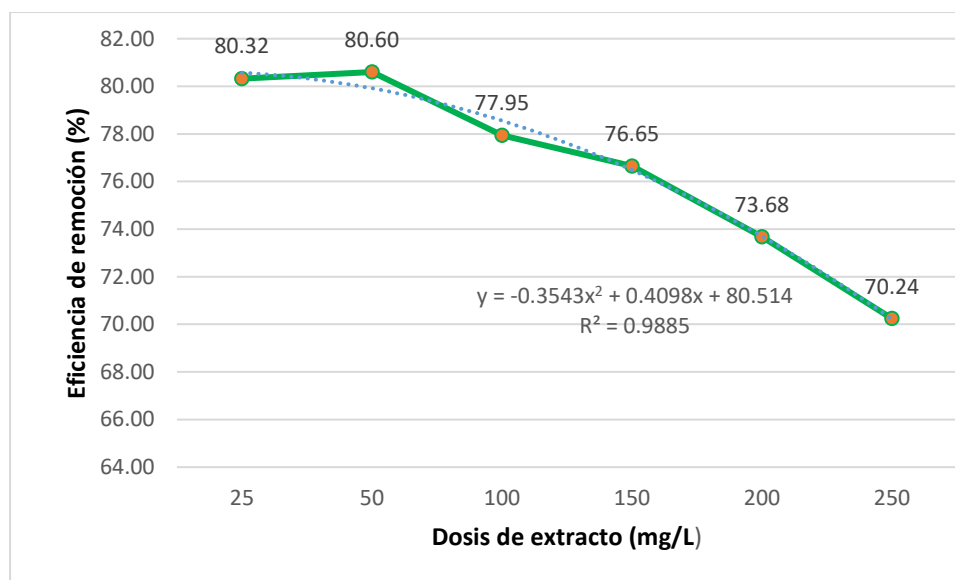


Figura 6.

Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 50 NTU



De acuerdo a las Figuras 5 y 6, aplicando extracto de *Opuntia macbridei* en muestras de agua con una turbidez inicial de 50 NTU, la dosis óptima de extracto coagulante-floculante es de 50 mg/L, obteniéndose 6,19 NTU (Figura 5) de turbidez residual y 80,60 % (Figura 6) de eficiencia de remoción de turbidez; no alcanzándose con estos resultados (Figura 47), los 5

NTU de turbidez residual como lo exige el LMP nacional y ECA nacional e internacional, para agua de consumo humano; sin embargo, la diferencia para alcanzar los ECA y LMP es muy reducida (1,19 NTU del LMP y ECA).

Fuentes et al. (2016), aplicaron el cactus *Opuntia ficus-indica* como coagulante a muestras de agua de 40,8 NTU, obteniendo una turbidez residual de 5,95 NTU y una eficiencia de remoción de turbidez de 98,69% para una dosis óptima de 100 mg/L; sin embargo, en la presente investigación esta dosis no fue la óptima pero presentó valores alentadores, (7,28 NTU de turbidez residual y 77,95 % de eficiencia de remoción de turbidez). Las diferencias radican en que Fuentes et al. (2019), sometieron las muestras dosificadas a una mezcla rápida de 200 rpm durante 1 minuto, mientras que en nuestro estudio se sometió a 100 rpm por 1 minuto; lo cual se sustenta en lo afirmado por Trujillo et al. (2014), quienes mencionan que la mezcla rápida es un factor importante en la coagulación, porque de esta depende que exista mayor o menor contacto entre coagulante y coloide.

4.2.1.3. Resultados para una Turbidez Inicial de 100 NTU.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en el jar test para una turbidez inicial de 100 NTU:

Figura 7.

Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 100 NTU

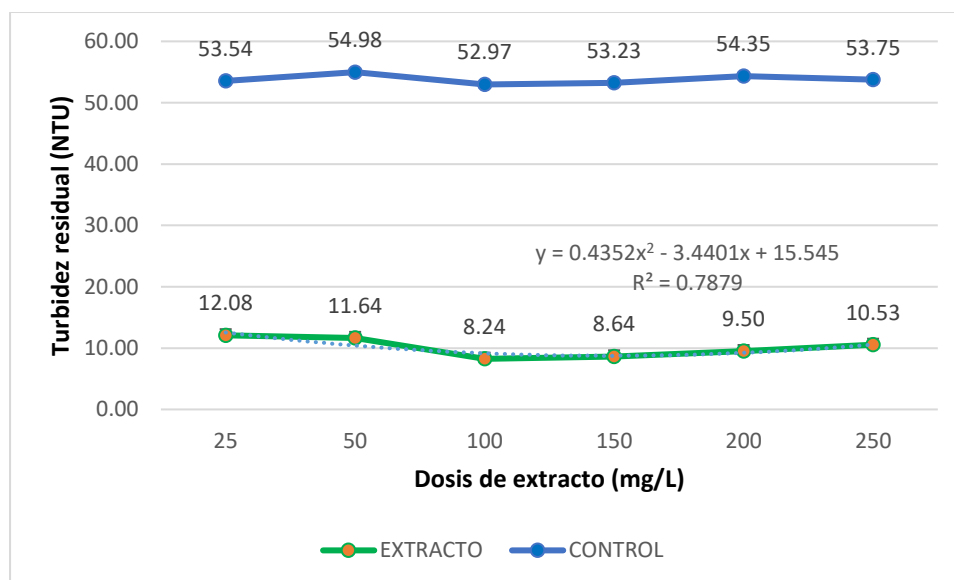
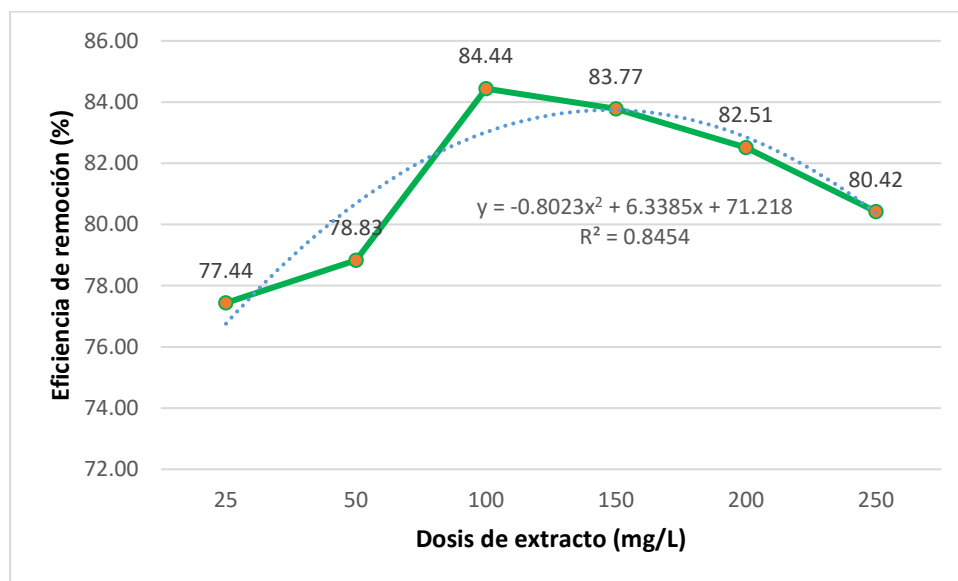


Figura 8.

Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 100 NTU



En las Figuras 7 y 8, se muestra los resultados al aplicar extracto de *Opuntia macbridei* sobre muestras de agua con una turbidez inicial de 100 NTU, obteniéndose los mejores resultados de reducción de turbidez residual (8,24 NTU) para una dosis de 100 mg/L (Figura 7), pero no se llega al nivel aceptable por la normativa nacional e internacional, siendo superior en 3,24 NTU. Con respecto a la eficiencia de remoción de turbidez se logró un 84,44 % (Figura 8), para una dosis óptima de 100 mg/L de extracto.

Estos resultados (Figura 49), fueron mejores a los de Aguirre et al. (2017), quienes obtuvieron 43,3 NTU de turbidez residual y un 65% de remoción de turbidez, para una dosis óptima de 100 mg/L y una turbidez inicial del agua de 126,6 NTU; la diferencia se sustenta en que Aguirre et al. (2017), sometieron el agua coagulada-floculada a un tiempo de sedimentación de 15 minutos, mientras que en nuestro estudio se sometió a dos horas de sedimentación, entendiéndose que a mayor tiempo de sedimentación mayor eficiencia de remoción.

4.2.1.4. Resultados para una Turbidez Inicial de 200 NTU.

En las figuras que se muestran a continuación, se muestra los resultados para una turbidez inicial de 200 NTU:

Figura 9.

Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 200 NTU

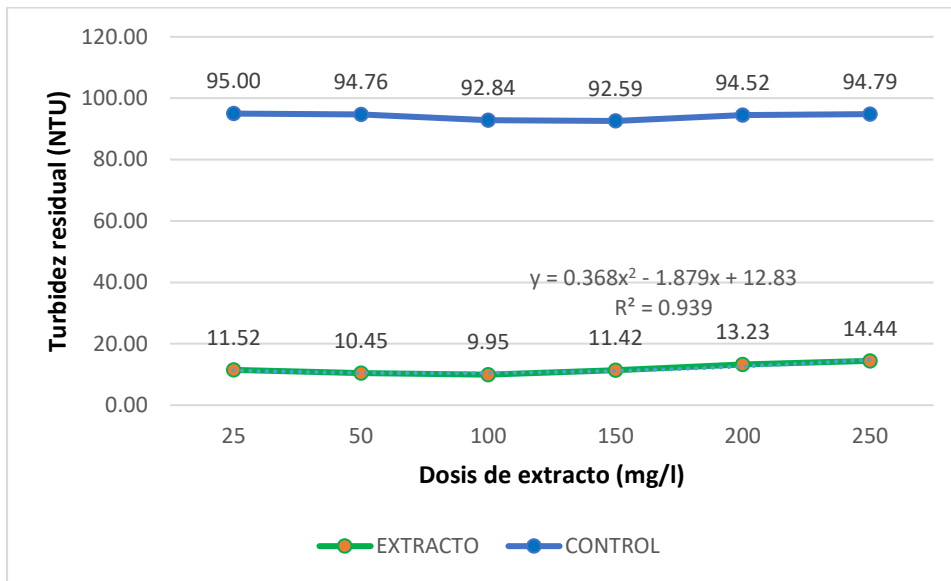
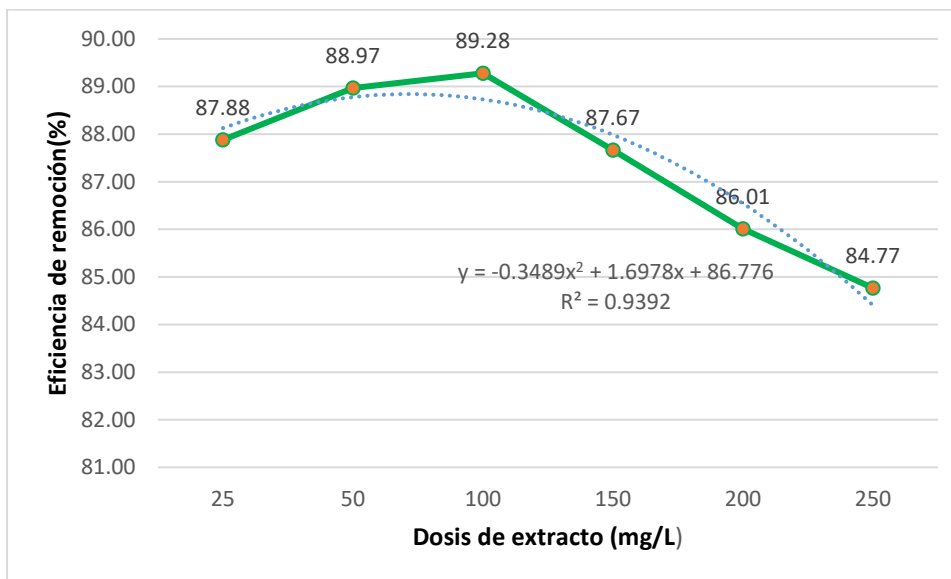


Figura 10.

Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 200 NTU



En las Figuras 9 y 10, se muestra los resultados al aplicar extracto coagulante-floculante de *Opuntia macbridei* en términos de turbidez residual y eficiencia de remoción de turbidez, las cuales nos muestran, la dosis de 100 mg/L como dosis óptima, logrando una eficiencia de remoción de turbidez de 89,28 % (Figura 10) y una turbidez residual de 9,95 NTU (Figura 9). Estos resultados (Figura 51), superan en 4,95 NTU el LMP nacional y ECA nacional e internacional.

En este estudio se consiguió resultados menos favorables que los obtenidos por Quiróz et al. (2010), quienes obtuvieron 96 % de remoción de turbidez y una turbidez residual de 9 NTU, al aplicar *Opuntia ficus indica* como coagulante para una turbidez inicial de 200 NTU y una dosis óptima de 45 mg/L; esta diferencia se sustenta en el estado del mucílago utilizado, porque en el presente estudio se utilizó el extracto coagulante-floculante a partir del mucílago en polvo, mientras que Quiróz et al. (2010) obtuvieron la solución coagulante-floculante a partir del mucílago en fresco. En este sentido Quispe (2012), menciona que en la coagulación con *Opuntia ficus-indica*, el mucílago en fresco es más eficiente para remover la turbidez que el mucílago en seco.

Por otro lado, se logró mejores resultados que Olivero et al. (2014), quienes obtuvieron una turbidez residual de 29,6 NTU en muestras con una turbidez inicial de 174 NTU y para una dosis óptima de *Opuntia ficus-indica* de 40 mg/L; la diferencia es que en la investigación realizada por estos autores se aplicó solo dos niveles de dosis (35 y 40 mg/L) mientras que en este estudio se trabajó con seis niveles de dosis (25, 50, 100, 150, 200 y 250 mg/L), de esta forma se afirma que a Olivero et al (2014), le faltó abarcar más niveles de dosis hasta alcanzar los 100 mg/L. Además, se obtuvo mejores resultados que Aguirre et al. (2017), quienes aplicando una dosis óptima de 100 mg/L de *Opuntia ficus-indica*, lograron remover un 72% de turbidez, en muestras de agua con turbidez inicial de 179,40 NTU; la diferencia se sustenta en que estos autores solo dejaron sedimentar el agua coagulada-floculada por 15 minutos, mientras que en este estudio se dejó sedimentar por dos horas.

4.2.1.5. Resultados para una Turbidez Inicial de 300 NTU.

A continuación se muestra los resultados obtenidos en el jar test para una turbidez inicial de 300 NTU:

Figura 11.

Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 300 NTU

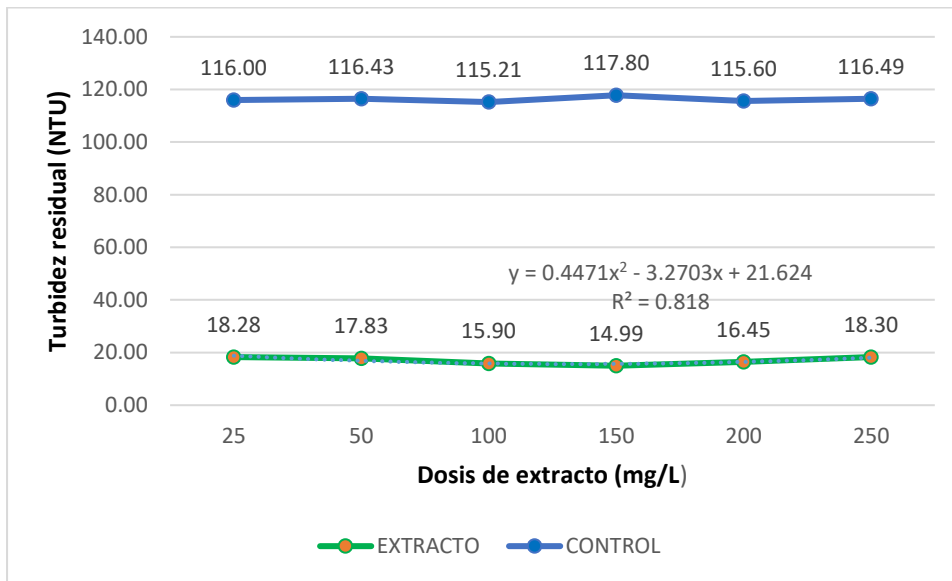
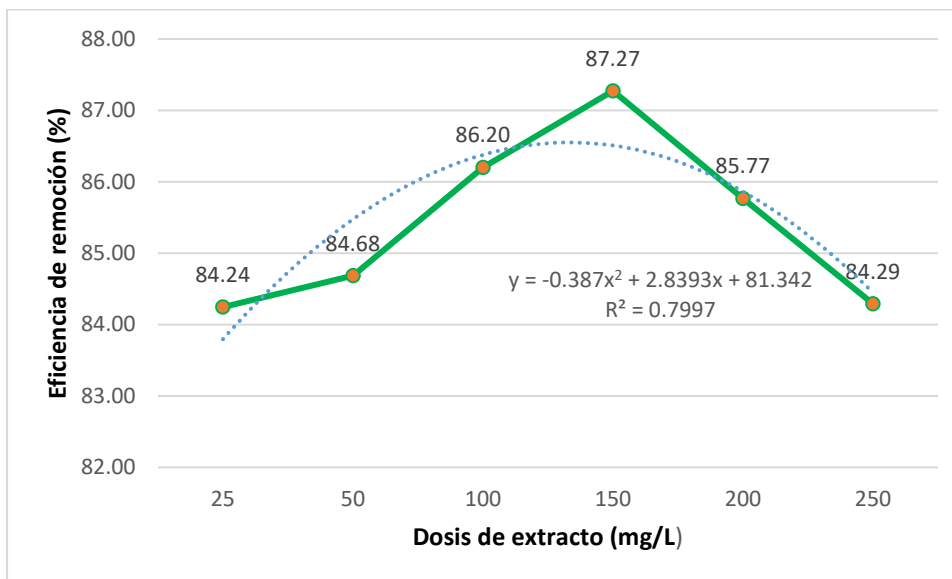


Figura 12.

Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 300 NTU



En las Figuras 11 y 12, muestran los resultados al aplicar el extracto de *Opuntia macbridei* como coagulante-floculante para una turbidez inicial de 300 NTU, entre estos una turbidez residual de 14,99 NTU (Figura 11) y una eficiencia de remoción de turbidez de 87,27% (Figura 12), para una dosis óptima de 150 mg/L. Estos resultados (Figura 53), al comparar con el LMP nacional y ECA nacional e internacional (5 NTU), el agua coagulada-floculada con *Opuntia macbridei* para una turbidez inicial de 300 NTU, supera en 9,99 NTU a los LMP y ECA.

Se lograron mejores resultados que Olivero et al. (2013), quienes aplicaron *Opuntia ficus-indica* a muestras de agua con una turbidez inicial de 276 NTU, logrando una turbidez residual de 18,63 NTU, para una dosis óptima de 40 mg/l; las diferencias son notables con este estudio, ya que los autores citados solo utilizaron dos niveles de dosis (35 y 40mg/L) y un tiempo de sedimentación de una hora, mientras que en este estudio se abarcó seis niveles de dosis (25, 50, 100, 150, 200 y 250 mg/L) y un tiempo de sedimentación de dos horas.

4.2.1.6. Resultados para una Turbidez Inicial de 400 NTU.

Las figuras que a continuación se muestran, detallan los resultados obtenidos en el jar test para una turbidez inicial de 400 NTU.

Figura 13.

Turbidez residual para diferentes dosis de extracto en muestras de 400 NTU.

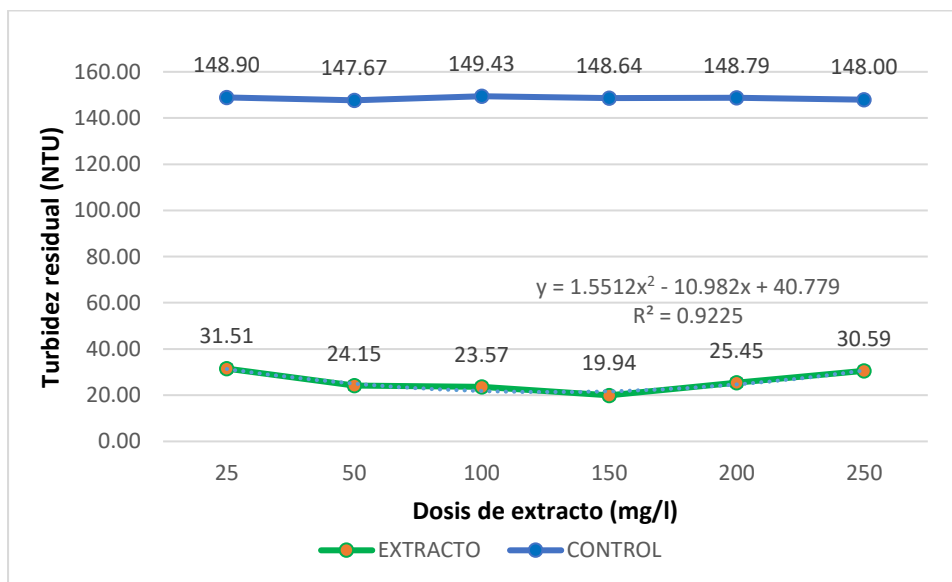
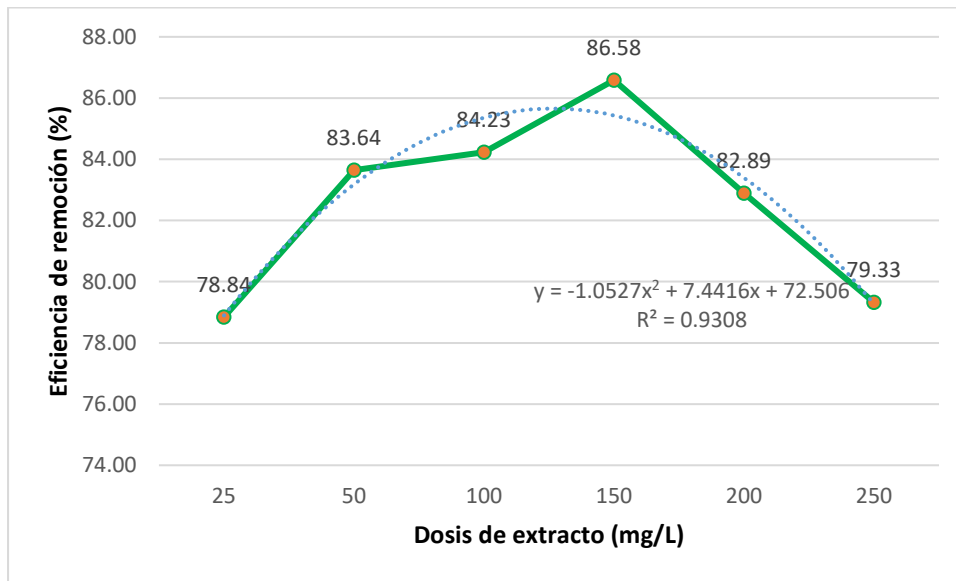


Figura 14.

Eficiencia de remoción de turbidez para diferentes dosis de extracto en muestras de 400 NTU



En las Figuras 13 y 14, se muestran los resultados al aplicar el extracto de *Opuntia macbridei* como coagulante-floculante para una turbidez inicial de 400 NTU, entre estos 19,94 NTU de turbidez residual (Figura 13) y una eficiencia de remoción de turbidez del 86,58% (Figura 14), para una dosis óptima de 150 mg/L, superando en 14,94 NTU el LMP nacional y ECA nacional e internacional.

Los resultados obtenidos (Figura 55), son inferiores a los encontrados por Fuentes et al. (2016), quienes aplicando el cactus *Opuntia ficus-indica* en muestras de agua con turbidez inicial de 800 NTU, lograron una turbidez residual de 12,73 NT, para una dosis óptima de 100 mg/L; la razón de estas diferencias radica en que al momento de ejecutar las pruebas de jarras, sometieron las muestras dosificadas a una mezcla rápida de 200 rpm durante 1 minuto, mientras que en este estudio solo se sometió a 100 rpm por 1 minuto; lo cual se sustenta con Trujillo et al. (2014) quienes mencionan, que depende de la mezcla rápida para que exista mayor o menor contacto entre el coagulante y los coloides.

Sin embargo, se obtuvo mejores resultados que López (2018), quien aplicó *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural en muestras de agua con turbidez inicial de 500 NTU, logrando una turbidez residual de 74,85 NTU para una dosis óptima de 90 mg/l. La razón de estas diferencias, radica en que López consideró dosis bajas y poca amplitud de los niveles de dosis (10, 30, 50, 70, 90, y 110 mg/L), mientras que en el presente estudio se consideró mayor amplitud en los niveles de dosis (25, 50, 100, 150, 200 y 250 mg/L), para de esta manera afirmar

que al autor citado le faltó considerar este criterio y como menciona Arboleda (1992), cuando se sobresatura el agua con el coagulante se produce el efecto de barrido entre los coloides. Además, señalar que López solo consideró un tiempo de sedimentación de 20 minutos, mientras que en el presente estudio fue de dos horas.

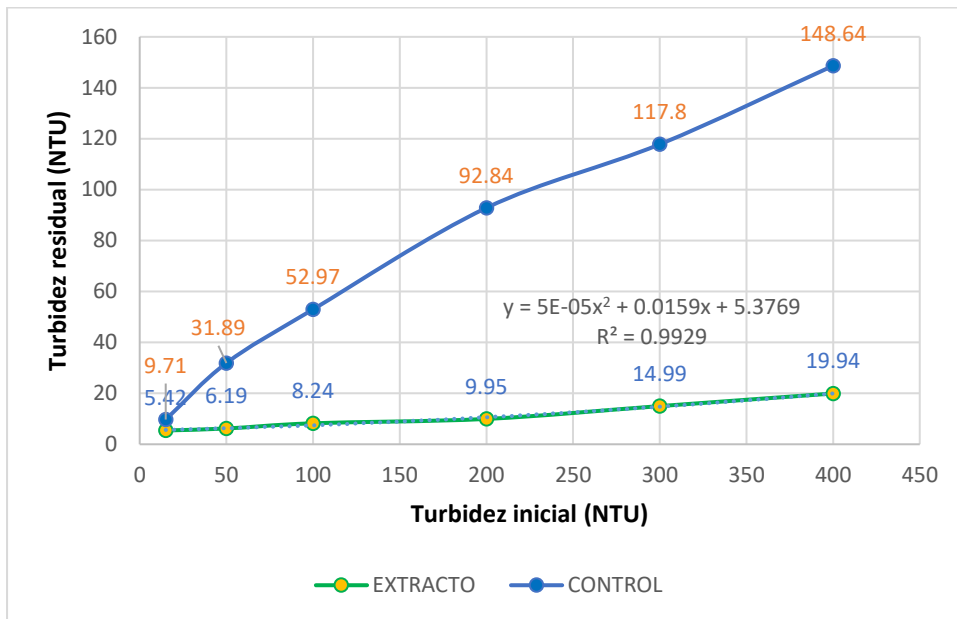
Otro aspecto importante a tener en cuenta es que la dosis de 25 mg/L presenta resultados similares que la dosis de 250 mg/L en términos de eficiencia de remoción de turbidez y turbidez residual; esto se debería a la mayor y menor saturación con coagulante-floculante del agua a ser tratada, porque al existir menor saturación de coagulante-floculante y al haber alta concentración de partículas coloidales en el agua, es posible que no se logre formar el “efecto puente” (coloide-coagulante-coloide) con todas las partículas coloidales, debido a que escasea el coagulante-floculante; mientras que si existe mayor saturación de coagulante-floculante y al haber menor concentración de partículas coloidales en el agua, es posible que no se logre también formar el efecto puente entre diferentes coloides, sino que se corre el riesgo que el polímero enlazado a la superficie de un coloide no encuentre otro coloide cerca para que se enlace, sino que nuevamente se enlace a una superficie libre del mismo coloide y no se produzca la coagulación; como lo mencionan Otero (2006) y Marín (2013), que las dosificaciones grandes saturan las superficies de los coloides, producen la reestabilización de los mismos, no se forma el puente coloide-polímero-coloide, por la carencia de partículas coloidales y por la carencia de superficies de los coloides; señalan también que las dosificaciones pequeñas forman el efecto puente, pero no satisface la alta demanda de polímero para que coagule todas las partículas coloidales.

4.2.1.7. Resultados de Turbidez Residual Aplicando las Dosis Óptimas.

En la Figura 15 y la Figura 16, se muestran los resultados obtenidos en términos de turbidez residual y eficiencia de remoción de turbidez respectivamente, teniendo en cuenta las turbiedades iniciales del agua y las dosis óptimas de extracto coagulante-floculante:

Figura 15.

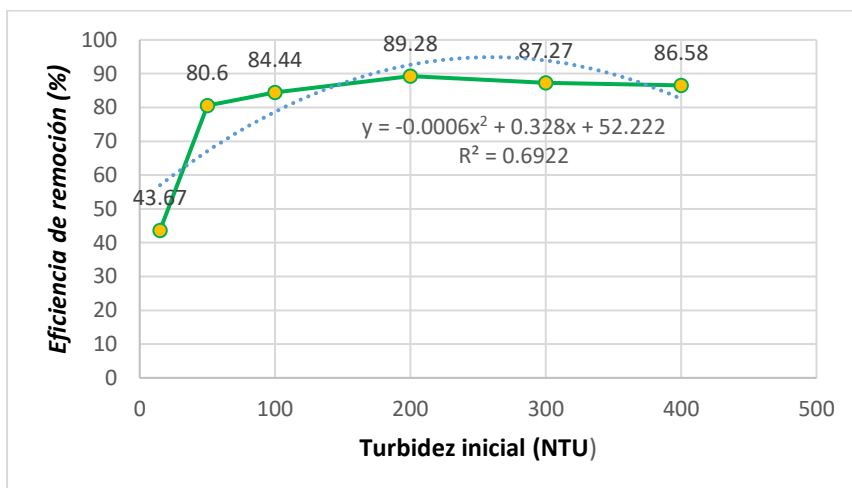
Turbidez residual de acuerdo a las dosis óptimas aplicadas en los niveles de turbidez inicial



Nota. para las turbiedades iniciales de 15 y 50 NTU resultó una dosis óptima de 50 mg/L, mientras que en las turbiedades iniciales de 100 y 200 NTU resultó una dosis óptima de 100 mg/L y finalmente para turbiedaes iniciales de 300 y 400 NTU resultó una dosis óptima de 150 mg/L

Figura 16.

Eficiencia de remoción de turbidez de acuerdo a las dosis óptimas aplicadas en los niveles de turbidez inicial



Nota. para las turbiedades iniciales de 15 y 50 NTU resultó una dosis óptima de 50 mg/L, mientras que en las turbiedades iniciales de 100 y 200 NTU resultó una dosis óptima de 100 mg/L y finalmente para turbiedades iniciales de 300 y 400 NTU resultó una dosis óptima de 150 mg/L.

Los resultados obtenidos en términos de turbidez residual y eficiencia de remoción de turbidez, dependiendo de las dosis óptimas aplicadas en muestras de agua con diferentes turbiedades iniciales, comprendidas entre 15 y 400 NTU; la turbidez residual tuvo valores entre 5,42 y 19,94 NTU (Figura 15), y una eficiencia de remoción de turbidez entre 43,67 y 89,28% (Figura 16), resaltando que la acción coagulante-floculante de *Opuntia macbridei* es significativamente alta cuando se trabaja con turbiedades iniciales altas. Cabe señalar, que ninguna dosis óptima aplicada a las diferentes muestras de agua con diferentes turbiedades iniciales logró estar dentro del LMP nacional y ECA nacional e internacional para agua de consumo humano, requiriendo el agua coagulada-floculada con esta especie un tratamiento complementario de filtración.

Los resultados obtenidos concuerdan con la literatura consultada, en la que se señala que los coagulantes-floculantes naturales presentan mayor eficiencia cuando se aplican en muestras de agua con turbiedades altas, en este sentido López (2018), logró resultados de remoción de turbidez entre 58,25 y 85,87 %, para turbiedades iniciales entre 20 y 500 NTU respectivamente, además señala que existe mayor remoción de turbidez a medida que la turbidez inicial de las muestras del agua aumenta. Del mismo modo, usando *Opuntia ficus-indica* Quiróz et al. (2010), encontraron que en muestras de agua con turbidez inicial baja (20 NTU) la remoción de turbidez no superó el 50%, mientras que en las muestras de turbidez inicial alta (100 NTU y 200 NTU) obtuvieron remociones de turbidez de 93% y 96% respectivamente.

Asimismo, en los resultados mostrados en las Figuras 15 y 16, se observan dosis óptimas en aumento mientras aumenta la turbidez inicial de las muestras de agua, entre ellas: dosis de 50 mg/L (para turbidez inicial de 15 NTU y 50 NTU), 100 mg/L (para turbidez inicial de 100 NTU y 200 NTU) y 150 mg/L (para turbidez inicial de 300 NTU y 400 NTU); concordando con López (2018) y Quiróz et al. (2010), quienes encontraron que las dosis óptimas de coagulante de *Opuntia ficus-indica*, obtenidas en cada nivel de turbidez inicial experimentado, ascendían ligeramente a medida que el nivel de turbidez inicial de las muestras de agua utilizadas ascendía.

De acuerdo con estos resultados, se afirma que cuando se aumenta la turbidez inicial se debe aumentar ligeramente la dosis de extracto para lograr una mejor remoción de turbidez, en este sentido Otero (2006) y Marín (2013), mencionan que cuando se tiene turbiedades elevadas es un indicador que existe gran cantidad de coloides y su distanciamiento es muy cercano, por

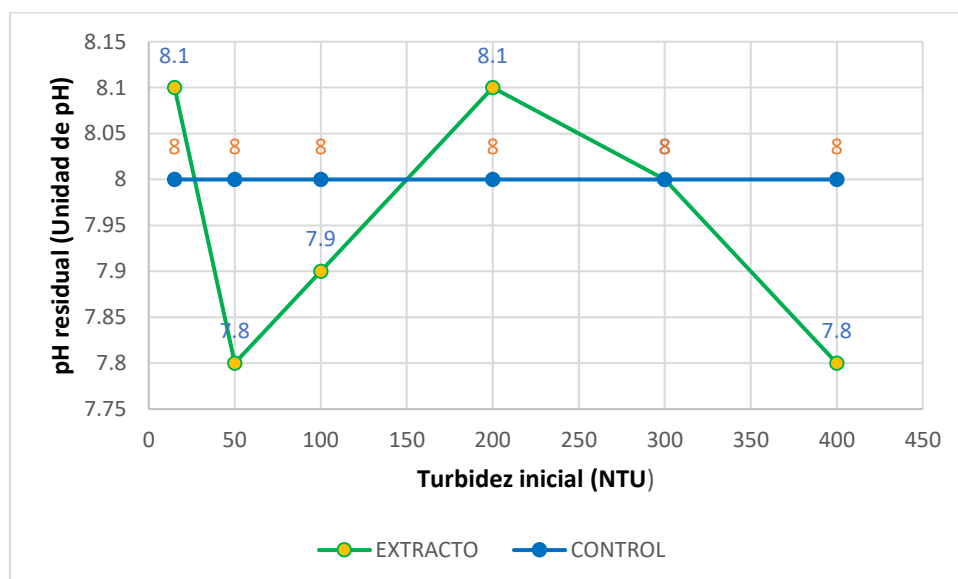
consiguiente demandan mayor cantidad de polímero para formar el puente (coloide-polímero-coloide) y de esta manera formar partículas de mayor tamaño para sedimentar por gravedad; mientras que si existe turbiedades bajas existe poca cantidad de partículas coloidales en suspensión en el agua y su distanciamiento es más pronunciado, por consiguiente demandan menor cantidad de polímero para formar el efecto puente.

4.2.2. pH residual

Durante la ejecución de los ensayos de tratabilidad mediante el jar test, se observó que no hubo una variación significativa del pH residual cuando se aplicaba las dosificaciones de extracto por cada nivel de turbidez inicial; motivo por el cual para evaluar este parámetro se ha considerado el pH residual promedio obtenido de la aplicación de la dosis óptima en cada nivel de turbidez inicial. La Figura 17 muestra los resultados de variación del pH residual, teniendo en cuenta las turbiedades iniciales del agua y las dosis óptimas del extracto coagulante-floculante de *Opuntia macbridei*:

Figura 17.

pH residual de acuerdo a las dosis óptimas aplicadas en los niveles de turbidez inicial



Nota. para las turbiedades iniciales de 15 y 50 NTU resultó una dosis óptima de 50 mg/L, mientras que en las turbiedades iniciales de 100 y 200 NTU resultó una dosis óptima de 100 mg/L, y finalmente para turbiedaes iniciales de 300 y 400 NTU resultó una dosis óptima de 150 mg/L.

De acuerdo a la Figura 17, no hay una variación significativa del pH residual respecto de las dosis óptimas de extracto que fueron aplicadas en los diferentes niveles de turbidez inicial, además no existe una variación significativa en el pH residual si se compara las dosis óptimas del extracto con el control utilizado; asimismo, no se supera el LMP nacional y el ECA

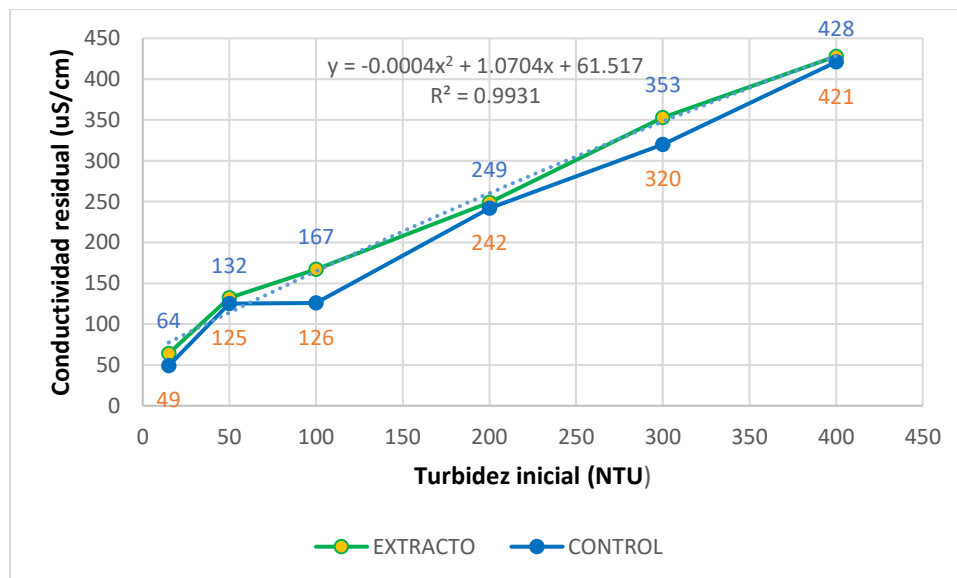
nacional e internacional (6,5 a 8,5 de pH) de agua para consumo humano. En este sentido, hay cierta semejanza con Bautista (2019), quien indica que la solución coagulante-floculante de *Opuntia macbridei* aplicado al agua no afecta significativamente el pH del agua; algo similar ocurre con López (2018) y Olivero et al. (2014), quienes encontraron que no hubo variación significativa del pH al aplicar *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural. Sin embargo, se obtuvo resultados poco similares a los obtenidos por Choque et al. (2018), quienes señalan que al aplicar los cactus *Opuntia ficus-indica* y *Echinopsis pachanoi* como coagulantes naturales incrementan ligeramente el pH de acuerdo a las dosis usadas. En este sentido, se puede afirmar que cuando se emplea un coagulante-floculante natural, existe variaciones mínimas poco significativas, que en este caso es el extracto de *Opuntia macbridei*.

4.2.3. Conductividad Eléctrica Residual

Para evaluar este parámetro se consideró la conductividad residual promedio obtenida de la aplicación de la dosis óptima en cada nivel de turbidez inicial. En la Figura 18 se muestran los resultados de variación de la conductividad residual, teniendo en cuenta las turbiedades iniciales del agua y las dosis óptimas del extracto coagulante-floculante de *Opuntia macbridei*:

Figura 18.

Conductividad eléctrica residual de acuerdo a las dosis óptimas aplicadas en los niveles de turbidez inicial



Nota. para las turbiedades iniciales de 15 y 50 NTU resultó una dosis óptima de 50 mg/L, mientras que en las turbiedades iniciales de 100 y 200 NTU resultó una dosis óptima de 100 mg/L y finalmente para turbiedaes iniciales de 300 y 400 NTU resultó una dosis óptima de 150 mg/L.

De acuerdo a la Figura 18, se puede ver que hay un pequeño aumento de la conductividad eléctrica residual, si se compara el control con las dosis óptimas del extracto que fueron aplicadas en los diferentes niveles de turbidez; sin embargo, no supera el LMP nacional (1500 uS/cm), ECA nacional (2000 μ S/cm) y ECA internacional (1000 μ S/cm) para agua de consumo humano. Estos datos son similares a Bautista (2019), quien encontró un ligero incremento de la conductividad eléctrica, al utilizar *Opuntia macbridei* para remover la turbidez del agua; también a los de López (2018), a quien le resultó que la conductividad eléctrica del agua incrementó ligeramente al aplicar *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural; de manera similar Fuentes et al. (2016) y Olivero et al. (2013), encontraron un ligero incremento de la conductividad del agua al aplicar el coagulante natural de *Opuntia ficus-indica*. Esto puede sustentarse en que los coagulantes-floculantes naturales son polímeros con cargas iónicas ligeras que se disuelven en el agua, aumentando de forma ligera la conductividad del agua (Majdoub et al., 2001).

4.3. Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, luego se hizo el análisis de varianza multifactorial, la prueba de Tukey y finalmente se construyó un modelo de regresión múltiple cuadrática.

4.3.1. Prueba de Normalidad

Se hizo un análisis de normalidad con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$) aplicando Shapiro-Wilk, porque el número de muestras por grupo es menor a 50 (Rubio y Berlanga , 2012), mostrándose en la Tabla 9.

Tabla 9.

Análisis de normalidad para las variables dependientes como turbiedad, pH y conductividad, mediante Shapiro-Wilk

Nivel de dosis, mg/L	Nivel de turbidez	Shapiro-Wilk (<i>p</i>)		
		Turbidez	pH	Conductividad
25 mg/L	15 NTU	0,183	0,637	0,298
	50 NTU	0,694	0,637	0,637
	100 NTU	0,144	0,463	0,637
	200 NTU	0,263	0,637	0,780
	300 NTU	0,694	1,000	0,780
	400 NTU	0,537	0,637	0,637
50 mg/L	15 NTU	0,220	1,000	1,000
	50 NTU	0,407	0,637	0,463
	100 NTU	0,637	0,637	1,000
	200 NTU	0,754	0,463	0,637
	300 NTU	0,935	0,463	0,463
	400 NTU	0,414	0,463	0,463
100 mg/L	15 NTU	0,780	1,000	0,298
	50 NTU	0,321	1,000	0,637
	100 NTU	0,210	1,000	0,780
	200 NTU	0,334	1,000	0,637
	300 NTU	0,414	0,637	1,000
	400 NTU	0,298	1,000	0,298
150 mg/L	15 NTU	1,000	0,463	0,463
	50 NTU	0,593	0,637	0,637
	100 NTU	0,726	1,000	0,780
	200 NTU	0,868	0,463	0,463
	300 NTU	0,853	1,000	1,000
	400 NTU	0,114	1,000	1,000
200 mg/L	15 NTU	0,235	0,637	0,780
	50 NTU	0,114	1,000	0,537
	100 NTU	0,309	0,463	1,000
	200 NTU	0,278	0,463	0,780
	300 NTU	0,266	0,637	0,363
	400 NTU	0,497	0,637	0,637
250 mg/L	15 NTU	0,157	1,000	0,637
	50 NTU	0,321	0,637	1,000
	100 NTU	0,448	1,000	0,463
	200 NTU	0,363	1,000	0,463
	300 NTU	0,122	1,000	0,363
	400 NTU	0,339	0,463	0,637

Nota. NTU es Unidades Nefelométricas de turbidez, mg/L es miligramos por litro y *p* es significación estadística.

En la Tabla 9 se muestra una significación estadística del análisis de normalidad para turbidez residual (entre $p=0,114$ y $p=1,000$), pH residual (entre $p=0,463$ y $p=1,000$), y conductividad eléctrica residual (entre $p=0,298$ y $p=1,000$), de los grupos formados por las dosis de coagulante-floculante aplicado y los niveles de turbiedad que se depuró.

Al respecto Romero. (2016), sostiene que cuando $p \geq \alpha$ existe una distribución normal y se aplica las pruebas paramétricas; como en este estudio se consideró un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$) y la significación estadística de la prueba de normalidad de la turbiedad, pH y

conductividad son mayores que α ($p \geq 0,05$), se afirma que los datos analizados siguen una distribución normal y por consiguiente es factible aplicar pruebas paramétricas para el análisis estadístico de los datos.

4.3.2. Coeficiente de Variabilidad (CV) y Prueba de Homogeneidad de Varianzas

En este estudio se determinó coeficientes de variabilidad para la turbidez residual ($0,11 \leq CV \leq 2,50$), para pH residual ($1,23 \leq CV \leq 2,66$), y para la conductividad eléctrica residual ($0,23 \leq CV \leq 5,73$) (ver Anexo 3). De esta forma, se observa que todos estos coeficientes de variabilidad son válidos y se deben tener en cuenta en la presente investigación, porque Gordón y Camargo (2015) sustentan que, el coeficiente de variabilidad en una investigación es aceptable, si se encuentra entre 0 y 10, de lo contrario se debe repetir el experimento por lo baja precisión que representa.

Para realizar la prueba de homogeneidad de varianzas se empleó la prueba de Levene con un nivel de confianza de 95 % ($\alpha=0,05$) tanto para la turbiedad residual, pH residual y conductividad eléctrica residual, porque Rubio y Berlanga (2012), mencionan que esta prueba se aplica para probar la igualdad de varianzas, en los grupos que se contrastan de la variable dependiente.

Tabla 10. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error basados en la media

Variable dependiente	Estadístico	gl1	gl2	p
Turbiedad residual	1,222	35	72	0,234
pH residual	0,606	35	72	0,947
Conductividad residual	0,787	35	72	0,779

Nota. gl es grados de libertad y p es significación estadística

Teniendo en cuenta lo que afirma Pinzón (2018), que las varianzas son homogéneas si $p \geq \alpha$, se analizó la Tabla 10 en la cual todos los parámetros analizados presentan un $p \geq \alpha$, tanto para la turbiedad residual que tiene un $p=0,234$, el pH residual que tiene un $p=0,947$ y la conductividad residual que tiene un $p=0,779$, concluyendo de esta forma que los datos analizados presentan una homogeneidad de varianzas, dentro de los grupos analizados de cada variable dependiente.

4.3.3. Análisis de Varianza y Método de Diferencia Significativa Honesta de Tukey

4.3.3.1. Análisis de Varianza .

Para probar la diferencia de medias con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$) entre los valores de turbiedad residual, pH residual y conductividad residual, producidos por los factores

de dosis de extracto coagulante-floculante aplicado y turbiedad inicial del agua, se aplicó un Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA) de dos Factores como se muestra en la Tabla 11. Esta decisión, se tomó teniendo en cuenta a Cayuela (2014), quien menciona que la diferencia de medias entre los valores de dos o más variables dependientes producidos por dos o más factores, se prueba mediante un Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA) de uno o más factores.

Tabla 11.

MANOVA para los factores: dosis aplicada y turbiedad inicial del agua

Origen	Variable dependiente	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Modelo Corregido	Turbiedad	5034,358 ^a	35	143,839	6828,391	0,000
	pH	1,080 ^b	35	0,031	1,181	0,272
	Conductividad	1595367,58 ^c	35	45581,931	9341,269	0,000
Intersección	Turbiedad	19018,299	1	19018,299	902846,703	0,00
	pH	6743,440	1	6743,440	258259,418	0,000
	Conductividad	6219360,083	1	6219360,083	1274555,767	0,000
Nturbiedad	Turbiedad	4551,650	5	910,330	43215,668	0,000
	pH	0,863	5	0,137	5,231	0,000
	Conductividad	1556199,306	5	311239,861	63783,501	0,000
Ndosis	Turbiedad	215,489	5	43,098	2045,965	0,000
	pH	0,100	5	0,020	0,763	0,579
	Conductividad	32431,661	5	6486,372	1329,276	0,000
Nturbiedad*Ndosis	Turbiedad	267,218	25	10,689	507,421	0,000
	pH	0,297	25	0,012	0,455	0,985
	Conductividad	6736,417	25	269,457	55,221	0,000
Error	Turbiedad	1,517	72	0,021		
	pH	1,880	72	0,026		
	Conductividad	351,333	72	4,880		
Total	Turbiedad	24054,173	108			
	pH	6746,400	108			
	Conductividad	7815079,000	108			
Total Corregido	Turbiedad	5035,874	107			
	pH	2,960	107			
	Conductividad	1595718,917	107			

Nota. a: R al cuadrado=1,000 (R al cuadrado ajustada=1,000)

b: R al cuadrado=0,365 (R al cuadrado ajustada=0,056)

c: R al cuadrado=1,000 (R al cuadrado ajustada=1,000)

gl: grados de libertad

p: significancia estadística

F: estadístico

Nturbiedad: niveles de turbidez inicial del agua sometida a la prueba de jarras

Ndosis: niveles de dosis aplicadas al agua en el ensayo de prueba de jarras

Vallejo et al. (2010), mencionan que si p es menor que la tasa de error ($p < \alpha$), entonces existen diferencias significativas entre los grupos y por consiguiente los factores que cumplan esta condición, son relevantes para cualquier análisis. En este sentido en la Tabla 11, observamos que para las variables dependientes “turbiedad y conductividad residuales”, los factores considerados en el presente estudio, como son la dosis de coagulante-floculante

aplicado y la turbidez inicial del agua, fueron relevantes durante el ensayo de prueba de jarras, tanto de forma independiente como interaccionada, porque ambos factores presentan un $p=0,000$. Esto concuerda en parte con la literatura, pues Montoya *et al.* (2012) sostiene que , tanto la dosis de coagulante-floculante y la turbidez inicial del agua cruda son factores influyentes en la turbidez residual durante la prueba de jarras; sin embargo López M. (2018) menciona que la conductividad residual también se ve afectada por la dosis y la turbidez inicial del agua pero en menor grado.

Además en la Tabla 11, observamos que la variable dependiente “pH residual”, no se ve afectada o no presenta diferencias significativas ($p=0,272$) por la interacción de los factores como son la dosis de coagulante-floculante y la turbidez inicial, concordando con López M. (2018) y Contreras *et al.*(2015), quienes mencionan que el pH residual después del ensayo de prueba de jarras con *Opuntia ficus-indica* no se ve afectado significativamente. Sin embargo, la Tabla 9 nos muestra también, que el pH se ve afectada significativamente por el nivel de turbidez inicial del agua cruda ($p=0,000$), debido a que se trabajó con diferentes niveles de turbiedad de agua cruda, lo que significa que se trabajó con muestras de agua de diferentes características y estas permanecen, porque el otro factor como es la dosis no afectó significativamente el pH residual.

4.3.3.2.Prueba de Diferencia Significativa Honesta de Tukey (HSD Tukey).

Para seleccionar los tratamientos con las mejores medias se usó la prueba HSD Tukey con el 95 % de confianza con una tasa de error del 5 % ($\alpha=0,05$) que a continuación se muestra; este análisis se realizó de acuerdo con Wong (2010), quien menciona que esta prueba es la más usada de las muchas que existen para realizar comparaciones múltiples, entre los tratamientos realizados en un ensayo de laboratorio o investigación.

4.3.3.2.1.HSD Tukey para las Variables Dependientes Turbiedad Residual y Eficiencia de Remoción de Turbidez (%).

En la Tabla 12 y la Tabla 13, se muestran las comparaciones múltiples entre los grupos del factor de turbiedad inicial del agua cruda, con respecto a las variables dependientes de turbidez residual y la eficiencia de la remoción de la turbidez respectivamente:

Tabla 12.

HSD Tukey para la turbidez residual y el factor de turbidez inicial

Turbidez inicial	N	1	2	3	4	5	6
15 NTU	18	7,1844					
50 NTU	18		7,6672				
100 NTU	18			10,1050			
200 NTU	18				11,8350		
300 NTU	18					16,9589	
400 NTU	18						25,8700
<i>p</i>		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Nota. NTU es Unidades nefelométricas de turbidez, *p* es significancia estadística y *N* es tamaño de la muestra de la media armónica.

Figura 19.

Relación entre la turbidez residual y el factor de turbidez inicial

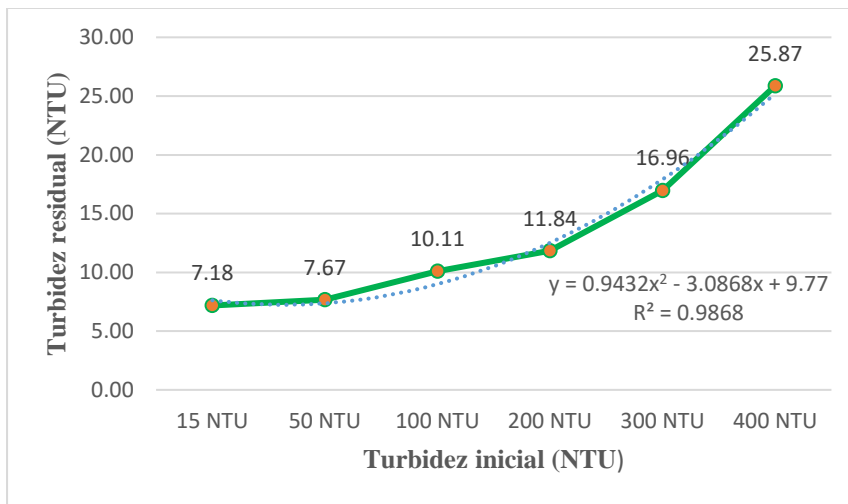


Tabla 13.

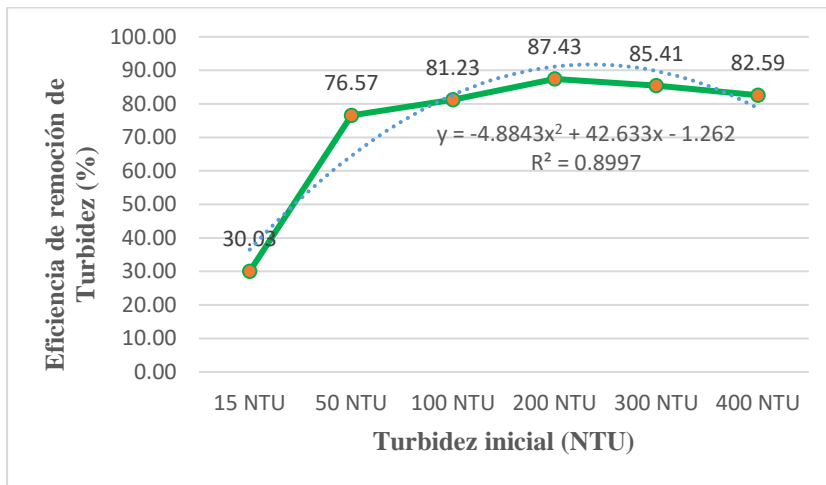
HSD Tukey para la eficiencia de remoción de turbidez (%) y el factor de turbidez inicial

Turbidez inicial	N	1	2	3	4	5	6
15 NTU	18	30,0307					
50 NTU	18		76,5739				
100 NTU	18			81,2348			
400 NTU	18				82,5859		
300 NTU	18					85,4099	
200 NTU	18						87,4273
<i>p</i>		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Nota. NTU es Unidades nefelométricas de turbidez, *p* es significancia estadística y *N* es tamaño de la muestra de la media armónica.

Figura 20.

Relación entre la eficiencia de remoción de turbidez (%) y el factor de turbidez inicial



De acuerdo a la Tabla 12 y la Figura 19, vemos que a medida que la turbidez inicial del agua cruda disminuye, la turbidez residual también tiende a disminuir; en cambio si la turbidez inicial del agua cruda aumenta, la turbidez residual también aumenta, pero no sobrepasa la turbidez inicial; de esta manera se concuerda con López (2018) quien nos señala que a medida que se aumenta los niveles de turbidez inicial del agua cruda, la turbidez residual también aumenta, pero no sobrepasando la turbidez inicial.

De otro modo en la Tabla 13 y Figura 20, nos damos cuenta que a medida que la turbidez inicial aumenta hasta alcanzar los 200 NTU, la eficiencia de remoción de turbidez aumenta, pero a partir de 300NTU empieza a disminuir el porcentaje eficiencia de remoción de turbidez. Es así que no se logró resultados similares a Laguna et al. (2018), quienes nos dicen que a mayor turbidez inicial mayor es la remoción de turbiedad; sin embargo, estos autores han trabajado con la especie de *Opuntia ficus-indica* y con turbiedades iniciales entre 100 y 200 NTU, y en este trabajo se trabajó con *Opuntia macbridei* y con turbiedades más elevadas alcanzando los 400 NTU.

En la Tabla 14 y Tabla 15, se muestran las comparaciones múltiples entre los grupos del factor de dosis de extracto coagulante-floculante aplicados, con respecto a las variables turbidez residual y el porcentaje de remoción de turbidez:

Tabla 14.

HSD Tukey para la turbiedad residual y el factor de dosis aplicado

Dosis aplicado	N	1	2	3	4	5	6
150 mg/L	18	11,5756					
100 mg/L	18		11,8283				
50 mg/L	18			12,6228			
200 mg/L	18				13,7328		
25 mg/L	18					14,2694	
250 mg/L	18						15,5917
<i>p</i>		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Nota. Donde mg/l: miligramos por litro, *p*: significancia estadística y *N*: tamaño de la muestra de la media armónica.

Figura 21.

Relación entre la turbidez residual y el factor de dosis de extracto aplicado

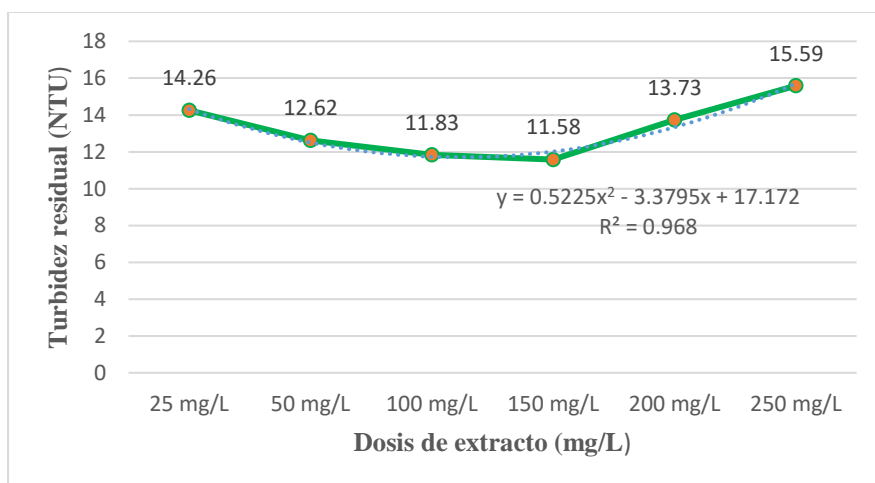


Tabla 15.

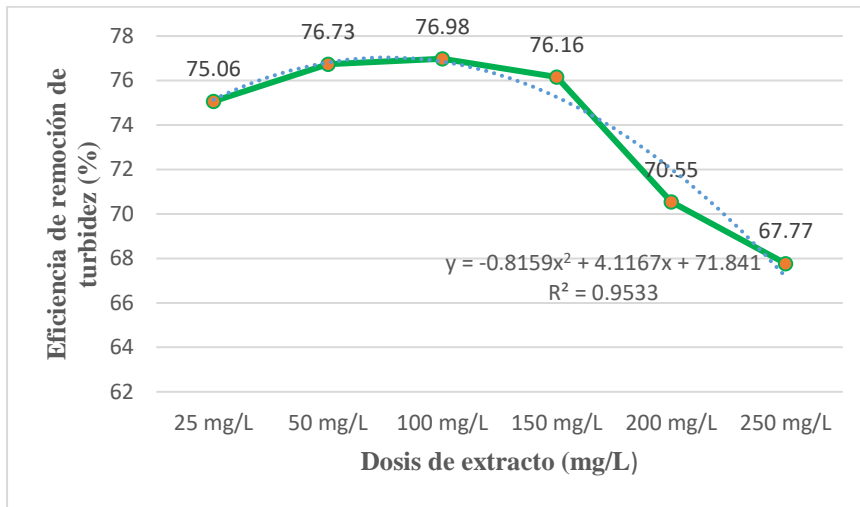
HSD Tukey para la eficiencia de remoción de turbidez (%) y el factor de dosis aplicado.

Dosis aplicado	N	1	2	3	4	5
250 mg/L	18	67,7747				
200 mg/L	18		70,5494			
25 mg/L	18			75,0604		
150mg/L	18				76,1604	
50mg/L	18					76,7318
100mg/L	18					76,9857
<i>P</i>		1,000	1,000	1,000	1,000	1,00

Nota. mg/L es miligramos por litro, *p* es significancia estadística y *N*: tamaño de la muestra de la media armónica.

Figura 22.

Relación entre la eficiencia de remoción de turbidez (%) y el factor de dosis de extracto aplicado



De acuerdo a la Tabla 14 y Figura 21, nos percatamos que las dosis 150, 100 y 50 mg/L presentan menor magnitud de turbidez residual que las dosis 200, 25, y 250 mg/L, por lo que podemos afirmar que las dosis de 150, 100 y 50 mg/L nos permitirían remover mayor cantidad de turbidez. Es así, que en este trabajo no se concuerda con Aguirre et al. (2017), quienes mencionan en su trabajo con *Opuntia ficus-indica*, las dosis que mayormente influyen en la turbidez residual se encuentran entre 20 y 100 mg/L. Sin embargo, como en este trabajo estamos trabajando con *Opuntia macbridei* y con turbiedades iniciales elevadas, vemos que el comportamiento de las dosis son diferentes; además en este trabajo no se hizo la extracción de pigmentos del polvo coagulante-floculante, y en el caso de los autores citados si lo hicieron.

Al mismo tiempo en la Tabla 15 y Figura 22, se muestra que las dosis de 50 y 100 mg/L presentan mayor eficiencia de remoción de turbidez, les sigue con unas décimas de diferencia la dosis de 150 mg/L; con esto se afirma que estas dosis son las ideales para coagular-flocular aguas a turbiedades iniciales entre 15 NTU y 400 NTU. Concordando en parte con Torres et al. (2012), quienes señalan en su trabajo de investigación con *Opuntia ficus-indica*, a las dosis entre 50 y 125 mg/L, como las más influyentes en la eficiencia de remoción de turbidez. Sin embargo en este trabajo, se observa una dosis de 150 mg/L que también es muy influyente, y puede deberse a que en este trabajo el mucílago se utilizó en polvo y los autores citados lo utilizaron en fresco.

4.3.3.2.2.HSD Tukey para la Variable Dependiente de pH Residual.

A continuación se muestran la Tabla 16 y la Tabla 17, que indican las comparaciones múltiples entre los grupos de los factores de turbidez inicial del agua cruda y la dosis aplicada en el tratamiento mediante la prueba de jarras, con respecto a la variable dependiente de pH residual:

Tabla 16.

HSD Tukey para el pH residual y el factor de turbidez inicial.

Turbidez Inicial	N	1	2
50 NTU	18	7,750	
100 NTU	18	7,872	7,872
400 NTU	18	7,894	7,894
300 NTU	18		7,928
200 NTU	18		7,983
15 NTU	18		7,983
<i>p</i>		,092	,318

Nota. NTU es Unidades nefelométricas de turbidez, *p* es significancia estadística y *N*: tamaño de la muestra de la media armónica.

Tabla 17.

HSD Tukey para el pH residual y el factor de dosis aplicada.

Dosis aplicado	N	1
150 mg/L	18	7,861
250 mg/L	18	7,861
25 mg/L	18	7,911
100 mg/L	18	7,911
200 mg/L	18	7,928
50 mg/L	18	7,939
<i>p</i>		0,700

Nota. mg/L es miligramos por litro, *p* es significancia estadística y *N* es tamaño de la muestra de la media armónica.

En la Tabla 16 nos indica que el pH residual no se ve afectado significativamente por los grupos del factor de turbidez inicial del agua cruda, y de acuerdo a la Tabla 17 se muestra también que el pH residual no se ve afectado significativamente por el factor de dosis aplicado; se obtuvo resultados similares a Contreras *et al.* (2015), quienes mencionan que aplicando *Opuntia ficus-indica* como coagulante-floculante para depurar aguas, el pH residual no se ve muy afectado. En este sentido, se afirma que tanto la *Opuntia macbridei* y *Opuntia ficus indica*, por pertenecer al mismo género no modifican significativamente el pH del agua, por lo tanto el agua tratada con estos coagulantes-floculantes, no requiere de ningún tratamiento posterior para ajustar el pH al intervalo deseado.

4.1.1.1. HSD Tukey para la Variable Dependiente Conductividad Residual.

En las Tablas 18 y 19, se indican las comparaciones múltiples entre los grupos de los factores de turbidez inicial del agua cruda y de la dosis aplicada en los ensayos de prueba de jarras, con respecto a la variable dependiente de la conductividad residual:

Tabla 18.

HSD Tukey para la conductividad residual y el factor de turbidez inicial

Turbidez inicial	N	1	2	3	4	5	6
15 NTU	18	79,39					
50 NTU	18		144,50				
100 NTU	18			177,06			
200 NTU	18				261,11		
300 NTU	18					351,50	
400NTU	18						426,28
<i>p</i>		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Nota. NTU es Unidades nefelométricas de turbidez, *p* es significancia estadística y *N* es tamaño de la muestra de la media armónica.

Figura 23.

Relación entre la Conductividad residual y el factor de dosis de extracto aplicado

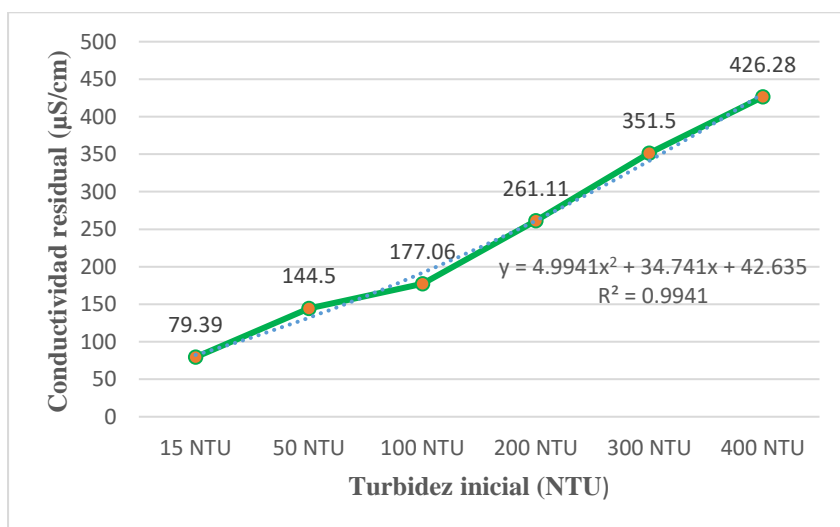


Tabla 19.

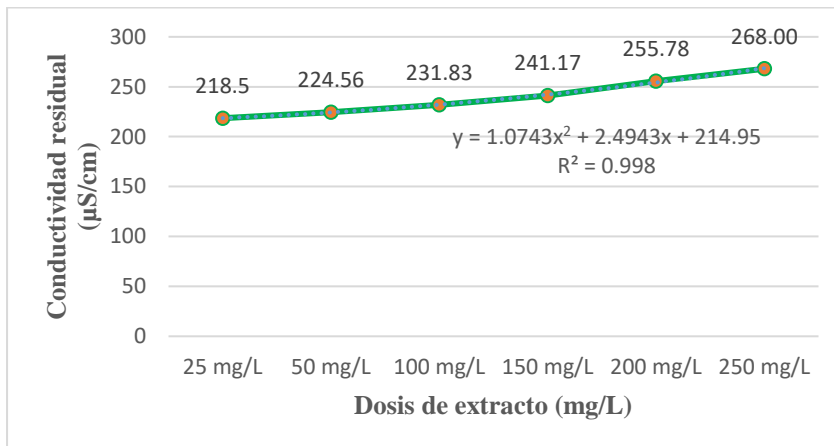
HSD Tukey para la Conductividad residual y el factor de dosis aplicado

Dosis aplicado	N	1	2	3	4	5	6
25 mg/L	18	218,50					
50 mg/L	18		224,56				
100 mg/L	18			231,83			
150 mg/L	18				241,17		
200 mg/L	18					255,78	
250 mg/L	18						268,00
<i>p</i>		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Nota. mg/L es miligramos por litro, *p* es significancia estadística y *N* es tamaño de la muestra de la media armónica.

Figura 24.

Relación entre la Conductividad residual y el factor de dosis de extracto aplicado



En la Tabla 18 y Figura 23 podemos observar, a medida que la turbidez inicial aumenta la conductividad residual también aumenta de manera significativa porque cada nivel de turbidez inicial forman grupos diferentes ordenados de forma ascendente, coincidiendo con López (2018), quien menciona que a medida que aumenta la turbidez inicial aumenta ligeramente la conductividad residual. En este sentido, podemos afirmar que la conductividad residual aumenta a medida que aumenta la turbidez inicial, debiéndose a que cuando se aumenta el nivel de turbidez inicial, se está contaminando más el agua y el contenido de sólidos disueltos tiende a aumentar.

Al mismo tiempo en la Tabla 19 y Figura 24, nos indica que a medida que aumenta la dosis de coagulante-floculante aplicado al agua cruda aumenta de una forma significativa la conductividad residual, logrando similitudes con Villanueva (2019), quien menciona que al aumentar las dosis de *Opuntia ficus-indica* aplicadas al agua cruda se incrementa la conductividad residual de forma significativa. En este contexto, podemos afirmar que las dosis aplicadas de *Opuntia macbridei* al agua cruda son proporcionales a la conductividad residual del agua tratada; es decir, a mayor dosis aplicadas mayor será la conductividad residual del agua tratada.

4.3.4. Modelo de Regresión Múltiple Cuadrático

Para aplicar este modelo se tuvo en cuenta el análisis de varianza (ANOVA) de acuerdo con Alcántar et al. (2015), quienes mencionan que el análisis de regresión se realiza siempre y cuando, los factores analizados generen diferencias significativas en la variable dependiente. En este estudio se hizo un análisis de varianza para las variables dependientes de turbidez

residual, pH residual y conductividad residual, como se mostró en la Tabla 11; de las cuales para el análisis de regresión, solo se tomó en cuenta la turbidez residual y la conductividad residual, porque el pH residual no presenta diferencias significativas.

Además, para el análisis de regresión se tuvo en cuenta a Novales (2010), quien menciona que el coeficiente de determinación (R^2), debe estar lo más cercano posible a 1, para de esta forma las variables independientes expliquen con mayor certeza las fluctuaciones en la variable dependiente. En este sentido, se optó por aplicar un modelo de regresión múltiple cuadrático, porque el coeficiente de determinación (R^2) fue el más cercano a 1; este modelo se aplicó para las variables dependientes de turbidez residual y conductividad residual, con los factores o variables independientes de turbidez inicial del agua y dosis de coagulante-floculante aplicado, como se muestra a continuación en las ecuaciones:

Para la variable dependiente de Turbidez residual, el modelo de regresión múltiple cuadrática con coeficiente de determinación ($R^2= 0,94$) cercano a 1 (ver Anexo 4), que significa que el modelo predice con un 94% de confianza la turbidez residual, se muestra a continuación:

$$\text{Turbidez residual(NTU)}=8,862+0,005xTi-0,054xD+0,0001xTi^2+0,0002xD^2-0,00004xTixD$$

Donde:

NTU: Unidades nefelométricas de turbidez

Ti: Turbidez inicial del agua en NTU

D: dosis de coagulante-floculante aplicado en mg/L (miligramos por litro)

Para la variable dependiente de conductividad eléctrica residual, el modelo de regresión múltiple cuadrático con coeficiente de determinación ($R^2=0,99$) muy cercano a 1 (ver Anexo 5), que significa que el modelo predice con un 99% de confianza el comportamiento de la conductividad eléctrica residual, se muestra a continuación:

$$\text{Conductividad residual} \left(\frac{\mu S}{cm} \right) = 42,632 + 1,096xTi + 0,204xD - 0,0004xTi^2 + 0,0003xD^2 - 0,0004xTixD$$

Donde:

$\frac{\mu S}{cm}$: microsiemens por centímetro

Ti: Turbidez inicial del agua en NTU

D: dosis de coagulante-floculante aplicado en mg/L (miligramos por litro)

CAPITULO 5.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.Conclusiones

El uso del extracto de *Opuntia macbridei* como coagulante-floculante es eficiente aunque no logra alcanzar los LMP nacionales y ECA nacionales e internacionales, demostrando una eficiencia de remoción de turbidez entre el 43,67% y el 89,28%, y una turbidez residual comprendida entre 5,47 NTU y 19,94 NTU, para una mezcla rápida de 100 rpm por un minuto, una mezcla lenta de 30 rpm por 30 minutos y dos horas de sedimentación. Asimismo, la dosis del extracto varía a medida que la turbidez inicial del agua varia, observándose que para muestras de turbidez inicial baja (15 y 50 NTU) la dosis óptima fue de 50 mg/L, para muestras de turbidez inicial media (100 y 200 NTU) la dosis óptima fue de 100 mg/L, y para muestras de turbidez elevada (300 y 400 NTU) la dosis óptima fue de 150 mg/L.

El pH del agua no se ve afectado de manera significativa al aplicar el extracto coagulante-floculante; sin embargo, la conductividad eléctrica del agua, se incrementa ligeramente al entrar en contacto con el extracto coagulante-floculante de *Opuntia macbridei*.

5.2.Recomendaciones

- ✓ Investigar el comportamiento de otros factores que influyen en la coagulación-floculación, tales como el pH, tiempo de floculación , gradiente de velocidad, mezcla rápida, entre otros.
- ✓ Realizar siempre ensayos de prueba de jarras para encontrar los parámetros óptimos como es la dosis, pH, gradiente de velocidad, mezcla rápida, tiempo de floculación, etc., para cualquier agua en particular, ya que las características del agua varía de acuerdo al espacio físico en que se encuentra.
- ✓ Realizar estudios complementarios a los de coagulación-floculación con el extracto de *Opuntia macbridei*, estos pueden ser estudios de filtración y sedimentación, para de esta manera obtener un agua con mejor calidad.
- ✓ Realizar estudios de costo/beneficio del coagulante-floculante de *Opuntia macbridei*, para de esta manera poder afirmar si sería o no rentable este producto si se quisiera comercializar.

- ✓ Realizar estudios de coagulación-floculación con mucílago de *Opuntia macbridei* en estado fresco y en estado despigmentado.
- ✓ Realizar estudios de composición química del extracto coagulante-floculante y del suelo arcilloso que se utiliza para alterar el agua en términos de turbidez.

CAPITULO 6.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraján, M. A. (2008). *Efecto del Método de Extracción en las Características Químicas y Físicas del Mucílago del Nopal (Opuntia ficus-indica) y Estudio de su Aplicación como Recubrimiento Comestible*. Tesis Doctoral, Universidad Politecnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos, Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3794/tesisUPV2920.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aguirre, S., Piraneque, N., & Cruz, R. (2017). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 59-70. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v29n3/0718-0764-infotec-29-03-00059.pdf>
- Albujar, J. H. (2018). *Rendimiento del Nopal (Opuntia ficus - indica) con Nanopartículas de Plata (AgNPs) en la Reducción de Carga Orgánica y Escherichia coli en las Aguas del Río Pisco 2018*. Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Lima-Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/19250>
- Alcántar, R. A., Treviño, F. E., & Martínez, J. L. (2015). Modelo Estadístico que Permite Observar el Impacto de los Factores que Inciden en el Rendimiento de Combustible. *Revista Electrónica Nova Scientia*, 7(2), 236-253. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v7n14/2007-0705-ns-7-14-00236.pdf>
- Alcázar, D. (2015). *Aplicación de un Coagulante Natural Obtenido a Partir de la Penca de Tuna (Opuntia ficus indica) para la Mejora de la Calidad en Aguas de Consumo en la Localidad de Achocalla*. Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Tecnología Química Industrial, La Paz-Bolivia. <http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/9335/PG-1468-Alcazar%20Le%C3%B3n%20Daniela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aldana, E. A. (2012). *Uso del Extracto de la Semilla de Moringa oleifera como Coagulante Natural Primario y Ayudante de la Coagulación en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima-Perú. http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3387/1/aldana_re.pdf

- Alvarado, L. N. (2012). Uso de las Cáscaras de Papa como Coagulante Natural en el Tratamiento de Aguas Potables de la Planta la Diana. *Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales*, 7(1), 115-121. <http://oaji.net/articles/2017/5082-1501178767.pdf>
- American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA], Water Environmet Federacion [WEF]. (1992). *APHA Method 2510-B: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* (Diesichoava ed.). (M. ANN, & H. Franson, Edits.) Washington, United States. https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-conductivity-standard-methods-white-paper.pdf
- American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA], Water Environmet Federacion [WEF]. (1992). *APHA Method 4500-H: Sthandard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Dieciochoava ed.). (M. Ann, & H. Franson, Edits.) Washington, United States. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/apha.method.4500-h.1992.pdf>
- Arboleda, J. (1992). Teoría y Práctica de la Purificación del agua. 1-72. <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/teoria.pdf>
- Armijos, E. N. (2010). *Cuantificación de Flujos Sedimentarios de las Cuencas Amazónicas del Perú*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina, Escuela de Postgrado, Lima-Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1713>
- Atención Primaria de Saneamiento y Saneamiento Básico Cajamarca [APRISABAC]. (1997). *Manual de Procedimientos Técnicos en Saneamiento*. Manual, Ministerio de Salud, Dirección Regional de Salud Cajamarca, Cajamarca. <http://www.minsa.gob.pe/publicaciones/aprisabac/44.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016). *Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos*. Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos, Ministerio de Agricultura y Riego, Lima-Perú. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/r.j._042-2016-ana_-_copia.pdf
- Baddi, M. H., Castillo, J., Rodríguez, M., A, W., & Villalpando, A. (2007). Diseños Experimentales e Investigación Científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(2), 283-330. <http://eprints.uanl.mx/12482/1/A5.pdf>

- Barazarte, H., Terán, Y., Aubeterre, R., Pérez, L., Garmendia, C., Moreno, I., . . . Sánchez, A. B. (2017). Características Físicas y Químicas de Cladodios de *Opuntia ficus-indica*. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*, 34(2), 175-186. https://www.researchgate.net/publication/315746700_Caracteristicas_fisicas_y_quimicas_de_cladodios_de_Opuntia_ficus-indica_L_Mill
- Bautista, M. Á. (2019). *Uso de Harina de Pitahaya (Hylocereus megalanthus), Melocactus (Melocactus peruvianus) y Penco (Opuntia macbridei) para Remover Turbidez en Agua sin Tratamiento para el Consumo Humano en la Localidad de Florida Pomacochas- Amazonas*. Tesis de Grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Chachapoyas. <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1826>
- Benjumea, C. A., Suárez, M. A., & Villabona, S. L. (2018). Variación Espacial y Temporal de Nutrientes y Total de Sólidos en Suspensión en la Cuenca de un Río de Alta Montaña Tropical. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat*, 42(165), 353-363. <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v42n165/0370-3908-racefn-42-165-00353.pdf>
- Bouatay, F., & Mhenni, F. (2014). Use of the Cactus Cladodes Mucilage (*Opuntia Ficus Indica*) As an Eco-Friendly Flocculants: Process Development and Optimization using Stastical Analysis. *Int. J. Environ. Res*, 8(4), 1295-1308. https://ijer.ut.ac.ir/article_822_15a052324d6b84181184bdd275322bb6.pdf
- Bravo, M. A. (2017). *Coagulantes y Floculantes Naturales Usados para la Remocion de la Turbidez, Solidos Suspendidos, Colorantes y Metales Pesados en Aguas Residuales*. Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco Jose de Celdas, Facultad de Ciencias y Educación, Bogota-Colombia. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>
- Britton, N. L., & Rose, J. N. (1923). *The Cactacea: Descriptions and Illustrations of Plantas of the Cactus Familiy* (Vol. IV). Washington, United States American. <https://opuntiads.com/records/britton-rose-cactaceae-4.pdf>
- Camargo, M., & Cruz, L. E. (1999). Remocion de Sustancias Humicas por Coagulacion con Alumbre. *Revista Ingenieria e Investigación* 1(44), 73-79. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/view/21302/22271>
- Cardona, D. C. (2011). *Caracterización del Agua Cruda del Rio La Vieja como Fuente Superficial como Fuente Superficial para el Proceso de Potabilización de*

- EMCARTAGO S.A.E.S.P. Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, Pereira. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2570/62816C268c.pdf;jsessionid=D621AF3D4388CA78DD446DE5EBE98C9A?sequence=1>
- Cayuela, L. (2014). *Modelos Lineales: Regresión, ANOVA y ANCOVA*. Universidad Rey San Carlos, Área de Biodiversidad y Conservación, Madrid. https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig202218/informacion_academica/2-Modelos%20lineales.pdf
- Cerón, V. A. (2016). *Estudio para la Determinación y Dosificación Óptima de Coagulantes en el Proceso de Clarificación en Aguas Crudas en la Potabilización de Aguas de la Empresa EMPOOBANDO E.S.P.* Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto. http://sired.udenar.edu.co/3769/1/tg_vcp.pdf
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A. M., & Ramos, B. S. (2018). Capacidad Floculante de Coagulantes Naturales en el Tratamiento del Agua. *Tecnología Química*, 38(2), 1-14. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4455/445558422008/445558422008.pdf>
- Chulluncuy, N. C. (2011). Tratamiento de Agua para Consumo Humano. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 1(29), 153-170. <http://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>
- Cogollo, J. M. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. *Dyana*, 68(165), 18-27. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>
- Congreso del República del Perú. (30 de marzo de 2009). *Ley de Recursos Hídricos*. Ley N° 29338, Lima. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley_29338_0_2.pdf
- Contreras, K. P., Salcedo, G., Mendoza, Y. A., Olivero, R., & Mendoza, G. P. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como Coagulante Natural Complementario en la Clarificación de Agua. *Producción + Limpia*, 10(1), 40-50. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n1/v10n1a04.pdf>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales* (Primera ed.). (N. Antequera, Ed.) Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

- Díaz, J. N. (2014). *Coagulantes-Floculantes Orgánicos e Inorgánicos Elaborados de Plantas y del Reciclaje de la Chatarra, para el Tratamiento de Aguas Contaminadas*. Tesis Magistral, Universidad Pedagógica Nacional Francisco de Morazán, Vicerrectoría de Investigación y Post Grado, Tegucigalpa. <http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmch1516>
- Díaz, W. E. (2016). *Calidad de Agua de Uso poblacional de la Ciudad de Chota-Cajamarca-2014*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Maestría en Ciencias con Mención en Ingeniería Ambiental, Lamabayeque-Perú. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/5446>
- Domínguez, A. M. (2010). *Optimización de la Coagulación-Floculación en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Sede Recreacional Campo Alegre-Cajasan, SI*. Tesis de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Ambiental, Bucaramanga. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital_19174.pdf?sequence=1
- Ecofluidos Ingenieros S.A. (2012). *Estudio de la Calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y Plan de Mitigación por Contaminación por Uso Doméstico y Agroquímicos en Apurímac y Cusco*. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, Lima-Perú. <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2018). *2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories Tables*. Washington D.C. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-03/documents/dwtable2018.pdf>
- Flores, R. V. (2017). *Variación Temporal de la Calidad de Agua en la Bocatoma "La Atarjea", Río Rímac (2009-2015)*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Postgrado, Lima-Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2892>
- Fuentes, N., Molina, E. J., & Ariza, C. P. (2016). Coagulantes Naturales en Sistemas de Flujo Continuo, como Sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para Clarificación de Aguas. *Producción + Limpia*, 2(2), 41-54. <http://dx.doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>
- Godoy, V. M. (2018). *Análisis Comparativo de la Disminución de la Turbidez en el Proceso de Floculación Utilizando un Floculante Comercial y la Paleta de Tuna*. Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Cajamarca-Perú.

- <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13840/Godoy%20Briones%2C%20Ver%C3%B3nica%20Milagros%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gordón, R., & Camargo, I. (2015). Selección de Estadísticos para la Estimación de la Precisión Experimental en Ensayos de Maíz. *Agronomía Mesoamericana* , 26(1), 56-63. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v26n1/a06v26n1.pdf>
- Guardado, O. A., & Hernández, A. M. (2017). *Evaluación de la Efectividad de Floculantes Naturales en el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de Lavandería Industrial, Utilizando el Cladodio del Nopal (Opuntia ficus-indica) y la Semilla de Tamarindo (Tamarindus indica)*. Tesis de Pregrado, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, San Salvador. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15099/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20efectividad%20de%20floculantes%20naturales%20en%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20provenientes%20de%20lavander%C3%ADa%20industrial%2C%20utilizando%20el%20Cladodio%20de%20Nopa>
- Guerra, K. B. (2020). *Impacto del Vertido de Lodos, del Proceso de Potabilización del Agua, en la Cantidad de Aluminio en las Aguas del Río Shilcayo, Tarapoto, 2018*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Martín , Facultad de Ecología, Moyobamba. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3957/ING.%20AMBIENTAL%20-%20Kenyo%20Bryand%20Guerra%20V%C3%A1lquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guerrero, M. (2010). *El Agua* (Primera ed.). Mexico, Mexico: Fondo de Cultura Económica. Recuperado el 14 de Agosto de 2018
- Guevara, J. C. (2009). Efectos Biofuncionales del Nopal y la Tuna. *Revista Horticultura*(71), 1-9. http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhi71/cientifico_rhi71.pdf
- Idrovo, C. (2010). *Optimización de la Planta de Tratamiento de Uchupucun*. Tesis de Grado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Cuenca-Ecuador. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2018). *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico*. Lima. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_y_saneamiento.pdf

- Jiménez, J., Vargas, M., & Quirós, N. (2012). Evaluación de la Tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la Remoción del Color en Agua Potable. *Tecnología en Marcha*, 25(4), 52-62. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835667.pdf>
- Laguna, K. W., Millán, E. d., Gonzáles, Y. d., Fuentes, L. d., & Gutiérrez, E. C. (2018). Efecto del pH de Aguas con Alta turbidez en la Eficiencia del Coagulante *Opuntia ficus indica*. *Sociedad Iberoamericana de Información científica*, 1(1). <https://www.siicsalud.com/des/expertoimpreso.php/153376>
- Lazo, R. (2010). *Texto: Operaciones y Proceso de Tratamiento de Agua Cruda para la Obtención de Agua Potable*. Trabajo de Investigación, Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química, Callao-Perú. https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Abril_2011/IF_LAZO_FIQ/INFORME%20FINAL_PARTEI.PDF
- León, F. M., Pérez, C., & Delgadillo, G. R. (2013). *Tratamiento de Aguas*. Manual de Laboratorio, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Mexico. http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo_editorial/comite_editorial/manuales/tratamientodeaguas_manualprac.pdf
- López, M. (2018). *Evaluación del Uso de la Cactacea Opuntia ficus-indica como Coagulante Natural para el Tratamiento de Aguas*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias, Lima-Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3541/lopez-perez-malena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, P. (1990). *Abastecimiento de Agua Potable y Disposición y Eliminación de Excretas* (Primera ed.). Mexico, Mexico: Instituto Politecnico Nacional.
- Lopez, R., & Casp, A. (2004). *Tecnología de Mataderos*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Lozano, L. L. (2018). *Efecto en la Disminución de la Turbidez en el Agua por Flocculantes de Opuntia ficus-indica (Tuna) con Diferentes Procesos de Extracción en el Río Chonta de Cajamarca, 2018*. Tesis de Pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Facultad de Ingeniería, Cajamarca-Perú. <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/721/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Madrid, A. (2012). *Manual del Agua: Ciencia, Tecnología y Legislación*. Madrid, España: AMV. Ediciones.
- Majdoub, H., Roudesli, S., & Deratani, A. (2001). Polysaccharides from prickly pear peel and nopals of *Opuntia ficus-indica*: extraction, characterization and polyelectrolyte behaviour. *Polimer Internacional*, 50(1). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/pi.665>
- Marín, M. (2014). Tratamiento y Depuración Industrial de Aguas. En M. Marín, *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos* (págs. 168-169). Ediciones Díaz Santos.
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos Tratamiento y Control de Calidad de Aguas* (Primera ed.). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S. A. Recuperado el 24 de Marzo de 2018
- Marín, R. (2013). *Procesos Fisicoquímicos en Depuración de Aguas* (Primera ed.). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A. Recuperado el 16 de Septiembre de 2018
- Marín, R. (2014). Dinámica Fisicoquímica de Aguas. En G. R. Marín, *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos* (Primera ed., págs. 12-26). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Martinez, J., & Gonzáles, L. E. (2012). *Evaluación del Poder Coagulante de la Tuna (Opuntia ficus indica) para la Remoción de Turbidez y Color en Aguas Crudas*. Tesis de grado, Universidad de Cartagena, Cartagena-Colombia.
- Method 180.1 EPA. (1993). *Determination of Turbidity by Nephelometry*. United States Environmental Protection Agency, United States. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_180-1_1993.pdf
- Ministerio de Salud. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua Para Consumo Humano*. DS N° 031-2010-SA, Ministerio de Salud [MINSA], Lima. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Disposiciones Complementarias*. D.S. N° 004-2017-MINAM, Ministerio del Ambiente (MINAM), Lima-Perú. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Molina, E. J. (2016). *Evaluación de coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al₂(SO₄)₃ para clarificación de aguas*. Tesis Magistral, Universidad

- Popular del Cesar, Colombia. http://docplayer.es/61903091-Evaluacion-de-coagulantes-naturales-en-sistemas-de-flujo-continuo-como-sustituto-del-al-2-so-4-3-para-clarificacion-de-aguas.html#show_full_text
- Montoya, C., Loayza, D., Torres, P., Cruz, H. C., & Escobar, J. C. (2012). Efecto del Incremento en la Turbiedad del Agua Cruda Sobre la Eficiencia de Procesos Convencionales de Potabilización. *Revista EIA*, 1(16), 137-148. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n16/n16a11.pdf>
- Morejón, J. (2017). *Utilización del mucílago de tuna (Opuntia ficus indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, Provincia del Carchi*. Tesis Magistral, Universidad Técnica del Norte, Instituto de Postgrado, Ibarra-Ecuador. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6621/1/PG%20496%20TESIS.pdf>
- Moreno, L., Fernandez, M. A., Rubio, J. C., Calaforra, J. M., Lopez, J. A., Beas, J., . . . Gómez, J. A. (2003). *La Depuración de Aguas Residuales Urbanas de Pequeñas Poblaciones Mediante Infiltración Directa en el Terreno* (Primera ed.). (L. Moreno, Ed.) Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España .
- Nemerow, N. L., & Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos* (Primera ed.). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Novales, A. (2010). *Análisis de Regresión*. Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Economía Cuantitativa, Madrid-España. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>
- Olivero, R. E., Aguas, Y. d., Mercado, I. D., Casas, D. P., & Montes, L. E. (2014). Utilización de la Tuna (Opuntia ficus-indica) como Coagulante Natural en la Clarificación de Aguas Crudas. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 11(1), 70-75. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6684755.pdf>
- Olivero, R. E., Mercado, I. D., & Montes, L. E. (2013). Remoción de Turbidez del Agua del río Magdalena usando el Mucílago del Nopal Opuntia ficus-indica. *Producción + Limpia*, 8(1), 19-27. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v8n1/v8n1a03.pdf>
- Olivero, R., Florez, A., Vega, L., & Glenda, V. (2017). Evaluación de una Mezcla para Coagulantes Naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en Clarificación de Aguas. *Producción + Limpia*, 12(2), 71-79. doi:10.22507/pml.v12n1a6

- Organización Mundial de la Salud [OMS] y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF]. (2017). *Progresos en Materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene*. informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS, Suiza. https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2018/01/JMP-2017-report-es_0.pdf
- Organización Panamericana de la Salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). *Tratamiento de Agua para Consumo: Plantas de Filtración Rápida*. Lima-Perú. <https://www.yumpu.com/es/document/read/13667949/tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion->
- Organización Panamericana de la Salud [OPS] y Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2015). *Boletín Informativo: El Agua..* https://www.paho.org/nic/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=datos-y-estadisticas&alias=716-boletin-informativo-el-agua&Itemid=235
- Ostolaza, C. (2014). *Todos los Cactus del Perú* (Primera ed.). (Ministerio del Ambiente, Ed.) Lima, Perú: Editorial Franco EIRL. <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/document.pdf>
- Otero, N. (2006). *Filtración de Aguas Residuales para Reutilización*. Universidad de La Laguna, Ciencias y Tecnologías. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/10239/cp273.pdf?sequence=1&is>
- Pancca, O. (2016). *Remoción del Fluoruro en Agua Potable por Precipitación-Floculación con Policloruro de Aluminio y Lechada de Cal*. Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Química, Puno-Perú. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2980/Pancca_Pacompi_Ornela.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y., & Lorena, F. (2011). Clarificación de Aguas de Alta Turbidez Empleando el Mucílago de *Opuntia Wentiana* (Britton & Rose)/(Cactacea). (R. Cadmo, Trad.) *REDIELUZ*, 1(1), 27-33. <https://pdfs.semanticscholar.org/3caf/f0bb6ce1f43d536b789c6a7de672949727de.pdf>
- Pérez, E. (3 de marzo de 2016). Control de Calidad en Aguas para Consumo Humano en la Región Occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 39(3), 3-14. http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2884/pdf

- Pérez, J. E. (2010). *caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la red de distribución de la ciudad de Yopal*. Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Fisicoquímicas, Bucaramanga. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133761.pdf>
- Pinzón, J. E. (2018). Aprendizaje de las Matemáticas con el Uso de Simulación. *Sophia*, 14(1), 22-30. doi:10.18634/sophiaj.14v.1i.519
- Quiróz, N., Vargas, M., & Jiménez, J. (2010). *Extracción y Análisis de Polímeros Obtenidos a Partir de Varios Productos Naturales, Para ser Usados como Potenciales Flocculantes en el Tratamiento de Agua Para Consumo Humano*. Centro de Investigación en Protección Ambiental. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3012/informe_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quispe, H. G. (2012). *Aplicación del Mucílago Extraído de Nopal (Opuntia ficus-indica) en la Clarificación del Agua del Río Uchusuma*. Tesis de Grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna, Facultad de Ingeniería, Tacna-Perú. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/529/TG0393.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, H., & Jaramillo, J.(2018). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Militar Nueva Granada*, 11(2), 136-153. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/1303/1359>
- Razury, K. E. (2017). *Disminución del Contenido de la DBO y la DQO Mediante Coagulantes Naturales (Aloe Vera L. y Opuntia ficus-indica) en las Aguas del Canal de Regadío E8-Chuquitanta-San Martín de Porres*. Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Lima-Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3588>
- Restrepo, O. H. (2009). *Evaluación del Proceso de Coagulación-Floculación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín-Colombia. http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
- Restrepo, O. H. (2009). *Evaluación del Proceso de Coagulación-Floculación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia,

- Rodiño, J. P., Feria, J. J., Paternina, R. d., & Marrugo, J. L. (2014). Extractos Coagulantes Naturales de *Hylocereus triangularis*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleífera* para el Tratamiento del Agua Cruda del Río Sinú. *Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental*, 155-160. <https://maestriaambiental.com/memorias/24.pdf>
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros Físicoquímicos de Dureza Total en Calcio y Magnesio, pH, Conductividad y Temperatura del Agua Potable Analizados en Conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de Cada Distrito de Grecia, Cantón de Alajuela. *Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica*, 9(13), 125-134. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/2842/2764>
- Rodríguez, M. G. (2006). *Depuración de Aguas Residuales: Modelización de Procesos de Lodos Activados*. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Rodríguez, Y. C. (2017). *Evaluación del mucílago de nopal (Opuntia ficus-indica) como agente estabilizante en néctar de maracuyá (Passiflora edulis)*. Tesis de Pregrado, Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería, Bogotá- Colombia. http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21264/43052010_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Romero, J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño* (Tercera ed.). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, M. (2016). Pruebas de Bondad de Ajuste a una Distribución Normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 6(3), 105-114. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5633043.pdf>
- Ronzano, E., & Dapena, J. L. (2002). *Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales* (Primera ed.). Madrid, España: PRIDESA.
- Rubio, M. J., & Berlanga, V. (2012). Cómo Aplicar las Pruebas Paramétricas Bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso Práctico. *Revista d'Innovació i Reserca en Educació*, 5(2), 83-100. <https://www.raco.cat/index.php/REIRE/article/download/255792/342835>
- Santos, J.D., Malagón P.Y., Córdova E.M. (2009). Caracterización de Arcillas y Preparación de Pastas Cerámicas para la Fabricación de Tejas en la región de Barichara, Santander.

58.<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n167/3420/342052520009>

- Sierra, C. A. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y Diagnóstico* (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Ediciones de la Universidad de Medellín.
- Spellman, F., & Drinan, J. (2013). *Manual del Agua Potable* (Primera ed.). (C. A. Berga, Trad.) Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2017). *La Agenda Regulatoria 2017-2021 en Agua Potable y Saneamiento*. Lima. http://files.pucp.edu.pe/posgrado/wp-content/uploads/2018/01/22112926/ivan-lucich_-sunass.pdf
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2004). *La Calidad del Agua Potable en el Perú*. Lima-Perú. http://www.sunass.gob.pe/Publicaciones/agua_potable.pdf
- Tamani, Y. H. (2014). *Evaluación de la calidad del agua del río Negro en la provincia de Padre Abad, Aguaytía*. Práctica preprofesional, Municipalidad provincial de Padre Abad, Tingo María-Peru. https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PRACTICA%20FINAL%20PARA%20EMPASTAR.pdf
- The Angiosperm Phylogeny Group IV [APG IV]. (2016). An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*(181), 1-20. http://reflora.jbrj.gov.br/downloads/2016_GROUP_Botanical%20Journal%20of%20the%20Linnean%20Society.pdf
- Toledo, P., More, J., & Ester, A. I. (2017). *Agua y Salud*. Iniciativa Científica Milenio, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Santiago de Chile. <http://www.iniciativamilenio.cl/wp-content/uploads/2018/03/Documento-extenso-agua-y-salud.pdf>
- Torres, L., Carpinteyro, S., & Vaca, M. (2012). Use of *Prosopis laevigata* Seed Gum and *Opuntia ficus-indica* Mucilage for the Treatment of Municipal Wastewaters by Coagulation-Flocculation. *Natural Resources*, I(3), 35-41. https://www.scirp.org/pdf/NR20120200001_61344975.pdf
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, d. (2012). Uso Productivo de Lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Potable en la Fabricación de Ladrillos Cerámicos. *Revista*

Ingeniería de Construcción, 13(3), 145-154. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732012000300003>

- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., & Pacheco, S. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Manizales*, 27(1), 17-34. <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v27n1/v27n1a03.pdf>
- Vallejo, G., Fernández, P., & Livacic-Rojas, P. (2010). Pruebas Robustas para Modelos ANOVA de Dos Factores con Varianzas Heterogéneas. *Psicológica*, 30(1), 129-148. <https://www.redalyc.org/pdf/169/16912881007.pdf>
- Vargas, J. A. (2018). *Evaluación de la Eficiencia de la Tuna (Opuntia ficus indica) como Coagulante Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba-Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8660/1/96T00462.pdf>
- Villabona, Á., Paz, I. C., & Martínez, J. (junio de 2013). Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v15n1/v15n1a14.pdf>
- Villanueva, J. (2019). *Efecto de Tres Concentraciones de Mucílago de Tuna (Opuntia ficus-indica) y de San Pedro (Echinopsis pachanoi) en la Clarificación del agua*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias, Cajamarca-Perú. [https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3474/EFFECTO%20DE%20TRES%20CONCENTRACIONES%20DE%20MUC%20C3%84LAGO%20DE%20TUNA%20\(Opuntia%20ficus-indica%20\(L.\)%20Miller\)%20Y%20DE%20SAN%20PE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3474/EFFECTO%20DE%20TRES%20CONCENTRACIONES%20DE%20MUC%20C3%84LAGO%20DE%20TUNA%20(Opuntia%20ficus-indica%20(L.)%20Miller)%20Y%20DE%20SAN%20PE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Wang, Z., Wei, X., Yang, J., Suo, J., Chen, J., Liu, X., & Zhao, X. (2016). Chronic exposure to aluminum and risk of Alzheimer's disease: A meta-analysis. *Neuroscience Letters*, 610(1), 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.11.014>
- Wong, E. (2010). ¿Después de un Análisis de Varianza ...Que? Ejemplos en Ciencia de los Alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2), 349-356. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v21n2/a16v21n2.pdf>
- Zamudio, J., Reinel, J., Ibarra, D., Solaque, O., Cafiero, A., & Garzon, E. (2015). Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector

rural del municipio de Fusagasugá. *Revista de Tecnología y Productividad*, 1(1), 71-83. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/rtyp/article/view/248/273>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	objetivos	hipótesis	Operacionalización de variables			Metodología
			Variables	Dimensiones	indicador	
<p>Problema general ¿De qué manera influye el extracto de <i>Opuntia macbridei</i> como coagulante-floculante para mejorar la calidad de las aguas?</p> <p>Problemas específicos -¿Cuál es la dosis óptima de aplicación del extracto de <i>Opuntia macbridei</i> por cada nivel de turbidez inicial del agua? -¿Cuál la variación de los parámetros de pH y conductividad eléctrica del agua producido por la aplicación del extracto de <i>Opuntia macbridei</i>?</p>	<p>Objetivo general Evaluar la eficiencia de la aplicación del extracto de <i>Opuntia macbridei</i> como coagulante-floculante para mejorar la calidad de las aguas</p> <p>Objetivos específicos -Determinar la dosis óptima de aplicación del extracto de <i>Opuntia macbridei</i> por cada nivel de turbidez inicial del agua. - Analizar la variación de los parámetros de pH y conductividad eléctrica del agua producido por la aplicación del extracto de <i>Opuntia macbridei</i>.</p>	<p>hipótesis general La aplicación del extracto de <i>Opuntia macbridei</i> será eficiente para mejorar la calidad de las aguas</p> <p>Hipótesis específicas -La dosis óptima de aplicación del extracto de <i>Opuntia macbridei</i> será diferente por cada nivel de turbidez. -El pH y la conductividad eléctrica del agua serán reducidas después de aplicar el extracto de <i>Opuntia macbridei</i></p>	Variable independiente: Extracto de <i>Opuntia macbridei</i>	Factores influyentes en la acción coagulante-floculante	Dosis del extracto	<p>Tipo de investigación Experimental</p> <p>Diseño de investigación Diseño experimental aleatorio con arreglo factorial de 6x6</p> <p>Técnicas de investigación -observación - análisis fisicoquímico -Jar test</p> <p>Instrumentos de investigación -ficha de registro -cámara digital -equipos para análisis fisicoquímico -agitador múltiple</p>
			Variable dependiente: El agua		Parámetros físicos	
				Parámetros químicos		

Anexo 2. Resultados registrados durante los ensayos de laboratorio mediante el Jar Test.

TRAT	TURBIEDAD	DOSIS	TURBIEDAD (NTU)					PH					CONDUCTIVIDAD (us/cm)				
			TI	R1	R2	R3	CONTROL	PHI	R1	R2	R3	CONTROL	CI	R1	R2	R3	CONTROL
1	15 NTU	25 mg/l	15	5.35	5.88	5.69	9.87	7.8	7.8	8	8.5	8	48	54	56	50	48
2	15 NTU	50 mg/l	15	5.56	5.53	5.32	9.75	7.8	8.5	8.2	8	8	48	62	66	64	49
3	15 NTU	100 mg/l	15	5.89	6.05	6.19	10.02	7.8	8	7.9	7.8	7.9	48	65	71	66	45
4	15 NTU	150 mg/l	15	6.97	6.83	6.69	10.55	7.8	7.8	8.5	7.7	7.8	48	76	80	77	52
5	15 NTU	200 mg/l	15	8.99	9.25	9.29	10.48	7.8	8.5	8.2	7.9	8	48	100	105	102	46
6	15 NTU	250 mg/l	15	9.95	9.80	9.81	10.65	7.8	7.8	8.2	8.0	8	48	110	111	113	48
7	50 NTU	25 mg/l	50	6.36	6.45	6.62	32.90	7.8	7.8	7.9	7.7	8	129	129	132	131	128
8	50 NTU	250 mg/l	50	6.24	6.15	6.17	33.89	7.8	7.6	7.9	7.8	8	129	130	133	134	125
9	50 NTU	100 mg/l	50	7.55	7.39	7.34	33.05	7.8	7.7	7.8	7.9	7.9	129	133	134	136	129
10	50 NTU	150 mg/l	50	7.49	7.85	7.59	32.68	7.8	7.7	7.5	7.8	7.9	129	142	140	139	124
11	50 NTU	200 mg/l	50	8.67	8.39	8.69	32.65	7.8	7.8	7.5	8	7.9	129	152	154	159	125
12	50 NTU	250 mg/l	50	9.79	10.02	9.74	33.50	7.8	7.6	7.9	7.7	7.8	129	175	174	176	123
13	100 NTU	25 mg/l	100	11.68	11.65	11.59	53.54	7.9	8	7.9	7.6	8	130	136	135	133	130
14	100 NTU	50 mg/l	100	11.68	11.5	11.59	54.98	7.9	7.9	7.8	8.5	8	130	148	144	146	125
15	100 NTU	100 mg/l	100	8.85	8.40	8.88	52.97	7.9	8.5	7.7	7.7	8	130	169	167	164	126
16	100 NTU	150 mg/l	100	8.55	8.65	8.75	53.23	7.9	7.9	7.8	8	7.8	130	186	191	188	124
17	100 NTU	200 mg/l	100	9.44	9.68	9.39	54.35	7.9	7.8	7.7	8.5	7.9	130	202	206	204	135
18	100 NTU	250 mg/l	100	10.72	10.39	10.47	53.75	7.9	7.7	7.8	7.9	8.5	130	225	222	225	134
19	200 NTU	25 mg/l	200	11.62	11.35	11.58	95.00	8.0	8	7.8	8.1	8.0	240	240	238	243	240
20	200 NTU	50 mg/l	200	10.19	10.68	10.49	94.76	8.0	7.9	8.2	7.8	8.5	240	247	248	250	237
21	200 NTU	100 mg/l	200	10.06	10.05	9.79	92.84	8.0	9.2	8.5	8	8.0	240	249	252	248	242
22	200 NTU	150 mg/l	200	11.43	11.54	11.29	92.59	8.0	8.1	8	7.7	8.1	240	258	262	259	233
23	200 NTU	200 mg/l	200	13.30	13.35	13.05	94.52	8.0	7.8	8.5	8.2	7.9	240	274	277	279	245
24	200 NTU	250 mg/l	200	14.45	14.45	14.46	94.79	8.0	7.9	7.8	8	8.0	240	293	294	290	239
25	300 NTU	25 mg/l	300	18.05	18.23	18.55	116.00	8.5	8.5	7.9	8	8.5	325	339	342	337	322
26	300 NTU	50 mg/l	300	17.75	17.92	17.83	116.43	8.5	8.5	8	7.7	8.5	325	341	337	338	322
27	300 NTU	100 mg/l	300	15.77	16.08	15.84	115.25	8.5	8	7.9	7.7	7.9	325	346	350	348	326
28	300 NTU	150 mg/l	300	15.15	14.98	14.85	117.80	8.5	7.8	8.2	8	8	325	352	354	353	320
29	300 NTU	200 mg/l	300	16.53	16.50	16.33	115.60	8.5	8	7.9	7.7	8	325	361	360	365	328
30	300 NTU	250 mg/l	300	18.38	18.12	18.40	116.49	8.5	7.8	8	7.9	8	325	371	366	367	324
31	400 NTU	25 mg/l	400	23.48	23.55	23.50	148.90	8.0	8	7.8	8.5	8.5	428	413	415	409	421
32	400 NTU	50 mg/l	400	24.28	23.97	24.25	147.67	8.0	8	8.5	7.7	8.5	428	425	418	417	426
33	400 NTU	100 mg/l	400	23.75	23.45	23.50	149.43	8.0	7.9	7.8	8	8.5	428	425	429	424	425
34	400 NTU	150 mg/l	400	19.90	20.04	19.89	148.64	8.0	7.9	7.7	7.8	8.0	428	428	427	429	425
35	400 NTU	200 mg/l	400	25.50	25.58	25.28	148.79	8.0	7.8	8.5	7.9	8.5	428	435	436	433	423
36	400 NTU	250 mg/l	400	30.72	30.4	30.66	188.00	8.0	7.9	8	7.6	8.0	428	437	440	439	424

Anexo 3. Resultados del Promedio y el Coeficiente de Variabilidad obtenido en el ensayo de Jar Test.

TRAT	TURBIEDAD	DOSIS	TURBIEDAD (NTU)							PH						CONDUCTIVIDAD (us/cm)							
			TI	R1	R2	R3	PROM	CV	CONTROL	PHI	R1	R2	R3	PROM	CV	CONTROL	CI	R1	R2	R3	PROM	CV	CONTROL
1	15 NTU	25 mg/l	15	5.71	5.88	5.69	5.76	1.81	9.87	7.8	7.8	8	8.1	8.0	1.92	8.0	48	54	56	50	53.33	5.73	48
2	15 NTU	50 mg/l	15	5.56	5.53	5.32	5.47	2.39	9.71	7.8	8.1	8.2	8	8.1	1.23	8.0	48	62	66	64	64.00	3.13	49
3	15 NTU	100 mg/l	15	5.89	6.01	6.19	6.03	2.50	10.02	7.8	8	7.9	7.8	7.9	1.27	7.9	48	65	71	66	67.33	4.77	45
4	15 NTU	150 mg/l	15	6.97	6.83	6.69	6.83	2.05	10.51	7.8	7.8	8.1	7.7	7.9	2.65	7.8	48	76	80	77	77.67	2.68	52
5	15 NTU	200 mg/l	15	8.99	9.25	9.29	9.18	1.78	10.48	7.8	8.1	8.2	7.9	8.1	1.89	8.0	48	100	105	102	102.33	2.46	46
6	15 NTU	250 mg/l	15	9.91	9.80	9.81	9.84	0.62	10.65	7.8	7.8	8.2	8	8.0	2.50	8.0	48	110	111	113	111.33	1.37	48
7	50 NTU	25 mg/l	50	6.36	6.45	6.61	6.47	1.96	32.90	7.8	7.8	7.9	7.7	7.8	1.28	8.0	129	129	132	131	130.67	1.17	128
8	50 NTU	50 mg/l	50	6.24	6.15	6.17	6.19	0.76	31.89	7.8	7.6	7.9	7.8	7.8	1.97	8.0	129	130	131	134	131.67	1.58	125
9	50 NTU	100 mg/l	50	7.11	7.39	7.34	7.28	2.05	33.01	7.8	7.7	7.8	7.9	7.8	1.28	7.9	129	133	134	136	134.33	1.14	127
10	50 NTU	150 mg/l	50	7.49	7.81	7.59	7.63	2.15	32.68	7.8	7.7	7.5	7.8	7.7	1.99	7.9	129	142	140	139	140.33	1.09	124
11	50 NTU	200 mg/l	50	8.67	8.39	8.69	8.58	1.95	32.61	7.8	7.8	7.6	8	7.8	2.56	7.9	129	152	154	159	155.00	2.33	125
12	50 NTU	250 mg/l	50	9.79	10	9.74	9.85	1.52	33.10	7.8	7.6	7.9	7.7	7.7	1.98	7.8	129	175	174	176	175.00	0.57	123
13	100 NTU	25 mg/l	100	11.85	12.2	12.18	12.08	1.65	53.54	7.9	8	7.9	7.6	7.8	2.66	8.0	130	136	135	133	134.67	1.13	130
14	100 NTU	50 mg/l	100	11.68	11.7	11.59	11.64	0.39	54.98	7.9	7.9	7.8	8.1	7.9	1.93	8.0	130	148	144	146	146.00	1.37	125
15	100 NTU	100 mg/l	100	8.15	8.4	8.18	8.24	1.66	52.97	7.9	8.1	7.7	7.9	7.9	2.53	8.0	130	169	167	164	166.67	1.51	126
16	100 NTU	150 mg/l	100	8.55	8.65	8.71	8.64	0.94	53.23	7.9	7.9	7.8	8	7.9	1.27	7.8	130	186	191	188	188.33	1.34	124
17	100 NTU	200 mg/l	100	9.44	9.68	9.39	9.50	1.63	54.35	7.9	7.8	7.7	8.1	7.9	2.65	7.9	130	202	206	204	204.00	0.98	133
18	100 NTU	250 mg/l	100	10.72	10.4	10.47	10.53	1.64	53.75	7.9	7.7	7.8	7.9	7.8	1.28	8.1	130	225	222	221	222.67	0.93	134
19	200 NTU	25 mg/l	200	11.62	11.4	11.58	11.52	1.27	95.00	8	8	7.8	8.1	8.0	1.92	8.0	240	240	238	243	240.33	1.05	240
20	200 NTU	50 mg/l	200	10.19	10.7	10.49	10.45	2.36	94.76	8	7.9	8.2	7.8	8.0	2.61	8.1	240	247	248	250	248.33	0.62	237
21	200 NTU	100 mg/l	200	10.06	10	9.79	9.95	1.44	92.84	8	8.2	8.1	8	8.1	1.23	8.0	240	249	251	248	249.33	0.61	242
22	200 NTU	150 mg/l	200	11.43	11.5	11.29	11.42	1.10	92.59	8	8.1	8	7.7	7.9	2.62	8.1	240	258	262	259	259.67	0.80	233
23	200 NTU	200 mg/l	200	13.30	13.4	13.03	13.23	1.30	94.52	8	7.8	8.1	8.2	8.0	2.59	7.9	240	274	277	279	276.67	0.91	245
24	200 NTU	250 mg/l	200	14.45	14.4	14.46	14.44	0.18	94.79	8	7.9	7.8	8	7.9	1.27	8.0	240	293	294	290	292.33	0.71	239
25	300 NTU	25 mg/l	300	18.05	18.2	18.55	18.28	1.39	116.00	8.1	8.1	7.9	8	8.0	1.25	8.1	325	339	342	337	339.33	0.74	332
26	300 NTU	50 mg/l	300	17.75	17.9	17.83	17.83	0.48	116.43	8.1	8.1	8	7.7	7.9	2.62	8.1	325	341	337	338	338.67	0.61	321
27	300 NTU	100 mg/l	300	15.77	16.1	15.84	15.90	1.02	115.21	8.1	8	7.9	7.7	7.9	1.94	7.9	325	346	350	348	348.00	0.57	326
28	300 NTU	150 mg/l	300	15.15	15	14.85	14.99	1.00	117.80	8.1	7.8	8.2	8	8.0	2.50	8.0	325	352	354	353	353.00	0.28	320
29	300 NTU	200 mg/l	300	16.53	16.5	16.33	16.45	0.66	115.60	8.1	8	7.9	7.7	7.9	1.94	8.0	325	361	360	365	362.00	0.73	328
30	300 NTU	250 mg/l	300	18.38	18.1	18.4	18.30	0.85	116.49	8.1	7.8	8	7.9	7.9	1.27	8.0	325	371	366	367	368.00	0.72	324
31	400 NTU	25 mg/l	400	31.48	31.6	31.5	31.51	0.11	148.90	8	8	7.8	8.1	8.0	1.92	8.1	428	413	415	409	412.33	0.74	421
32	400 NTU	50 mg/l	400	24.28	24	24.21	24.15	0.67	147.67	8	8	8.1	7.7	7.9	2.62	8.1	428	421	418	417	418.67	0.50	426
33	400 NTU	100 mg/l	400	23.75	23.5	23.5	23.57	0.68	149.43	8	7.9	7.8	8	7.9	1.27	8.1	428	423	429	424	425.33	0.76	425
34	400 NTU	150 mg/l	400	19.9	20	19.89	19.94	0.42	148.64	8	7.9	7.7	7.8	7.8	1.28	8.0	428	428	427	429	428.00	0.23	421
35	400 NTU	200 mg/l	400	25.5	25.6	25.28	25.45	0.61	148.79	8	7.8	8.1	7.9	7.9	1.93	8.1	428	435	436	433	434.67	0.35	423
36	400 NTU	250 mg/l	400	30.72	30.4	30.66	30.59	0.56	148.00	8	7.9	8	7.6	7.8	2.66	8.0	428	437	440	439	438.67	0.35	424

Nota. TI es turbidez inicial, R es la repetición, PROM es la media, CV es el coeficiente de variabilidad, PHI es el pH inicial, y CI es la conductividad eléctrica inicial.

Anexo 4. Análisis de regresión para obtener la turbidez residual

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.968601502
Coefficiente de determinación R ²	0.938188869
R ² ajustado	0.935158912
Error típico	1.746910675
Observaciones	108

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	8.862054434	0.71011376	12.479767	0.00	7.45355	10.2706	7.4535	10.2706
X1	0.00520252	0.00538132	0.9667733	0.02	-0.0055	0.01588	-0.0055	0.01588
X2	-0.05447842	0.00975553	-5.584363	0.00	-0.0738	-0.0351	-0.0738	-0.0351
X1 ²	0.000110934	1.1889E-05	9.3305241	0.00	8.7E-05	0.00013	9E-05	0.00013
X2 ²	0.000252331	3.3692E-05	7.4894574	0.00	0.00019	0.00032	0.0002	0.00032
X1*X2	-0.00004	1.5341E-05	-2.514957	0.01	-7E-05	-8E-06	-7E-05	-8E-06

Nota. X1 es la turbidez inicial en NTU y X2 es la dosis de extracto aplicado en mg/l.

Anexo 5. Análisis de regresión para obtener la conductividad eléctrica residual.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9957058
Coefficiente de determinación R ²	0.99143004
R ² ajustado	0.99100995
Error típico	11.5789041
Observaciones	108

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	42.63244839	4.706788573	9.057651	0.00	33.2966	51.96834	33.2966	51.9683
X1	1.096120203	0.035668581	30.730692	0.00	1.02537	1.166869	1.02537	1.16687
X2	0.204028805	0.064661773	3.1553234	0.00	0.07577	0.332285	0.07577	0.33229
X1 ²	-0.000420618	7.88051E-05	-5.337453	0.00	0.00058	-0.00026	-0.0006	-0.00026
X2 ²	0.00032955	0.000223315	1.4757208	0.14	0.00011	0.000772	-0.0001	0.00077
X1*X2	-0.000433542	0.000101681	-4.263748	0.00	0.00064	-0.00023	-0.0006	-0.00023

Nota. X1 es la turbidez inicial en NTU y X2 es la dosis de extracto aplicado en mg/L

Anexo 6. Fotografías de la preparación del extracto de la *O.macbridei*.

Figura 25.

Ejemplar de Opuntia macbridei



Figura 26.

Cladodios de Opuntia macbridei



Figura 27.

Flor de Opuntia macbridei



Figura 28.

Recojo del cladodio de la Opuntia macbridei



Figura 29.

Lavado, Retiro de la corteza y espinas del cladodio de la Opuntia macbridei



Figura 30.

Picado del Cladodio de Opuntia macbridei para la obtención del mucílago.



Figura 31.

*Licuada del mucílago de *Opuntia macbridei**



Figura 32.

Secado del mucílago en estufa



Figura 33.

Mucílago seco en estufa



Figura 34.

Mucílago siendo pulverizado con mortero



Figura 35.

Mucílago pulverizado con mortero

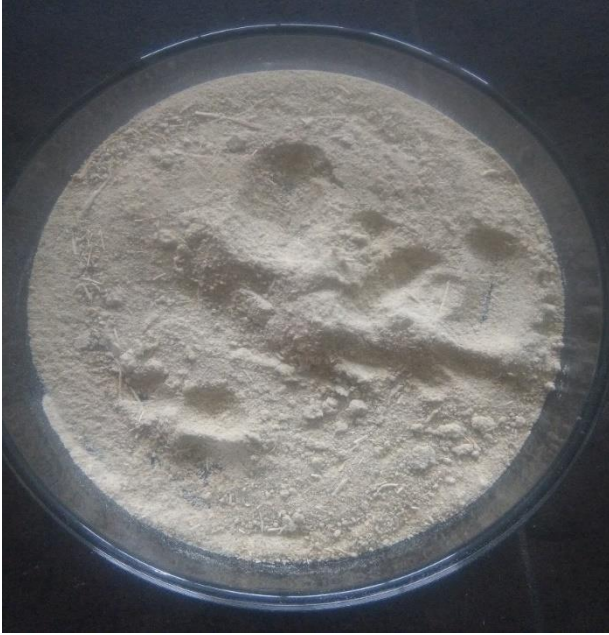


Figura 36.

Extracto de mucílago de Opuntia macbridei



Anexo 7. Fotografías de la preparación de las muestras de agua.

Figura 37.

Recojo del suelo arcilloso



Figura 38.

Mezcla del suelo arcilloso con agua destilada



Anexo 8. Fotografías de los ensayos de laboratorio

Figura 39.

Dosificación en el agitador múltiple



Figura 40.

Mezcla rápida y floculación de muestras



Figura 41.

Proceso de sedimentación de muestras



Figura 42.

Medición de la turbidez de las muestras de agua



Figura 43.

Medición del pH y la conductividad eléctrica de las muestras de agua



Anexo 9. Fotografías de los resultados de la prueba de jarras teniendo en cuenta las dosis óptimas

Figura 44.

Muestras de agua a 15 NTU de turbidez inicial antes de aplicar el extracto



Figura 45.

Muestras de agua una vez aplicada la dosis óptima de 50 mg/L de extracto a 15 NTU de turbidez inicial

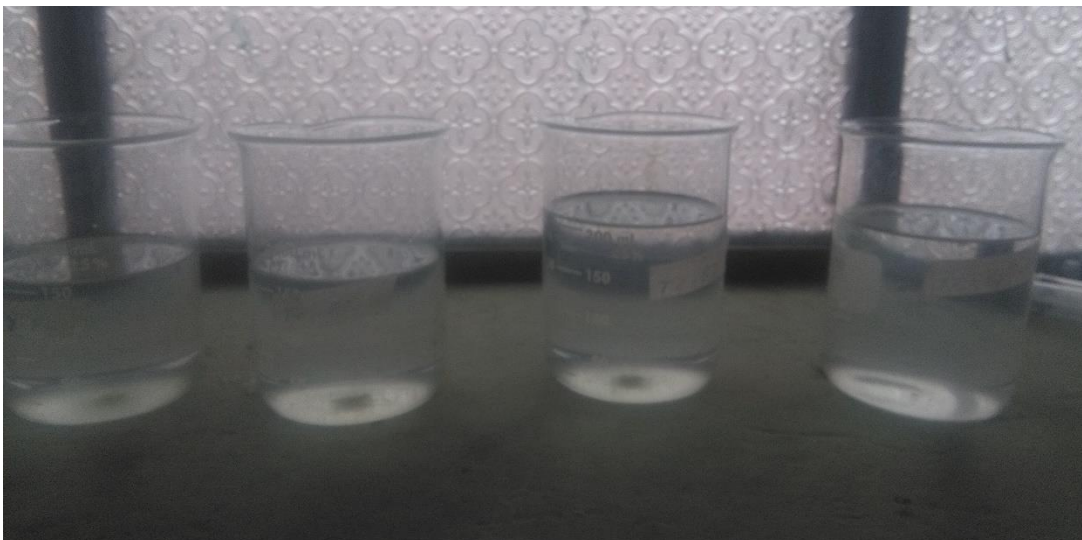


Figura 46.

Muestras de agua a 50 NTU antes de aplicar el extracto



Figura 47.

Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 50 mg/L de extracto a 50 NTU de turbidez inicial



Figura 48.

Muestras de agua a 100 NTU antes de aplicar el extracto



Figura 49.

Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 100 mg/L de extracto a 100 NTU de turbidez inicial



Figura 50.

Muestras de agua a 200 NTU de turbidez inicial antes de aplicar el extracto



Figura 51.

Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 100 mg/L de extracto a 200 NTU de turbidez inicial.



Figura 52.

Muestras de agua a 300 NTU de turbidez inicial antes de aplicar el extracto



Figura 53.

Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 150 mg/L de extracto a 300 NTU de turbidez inicial.



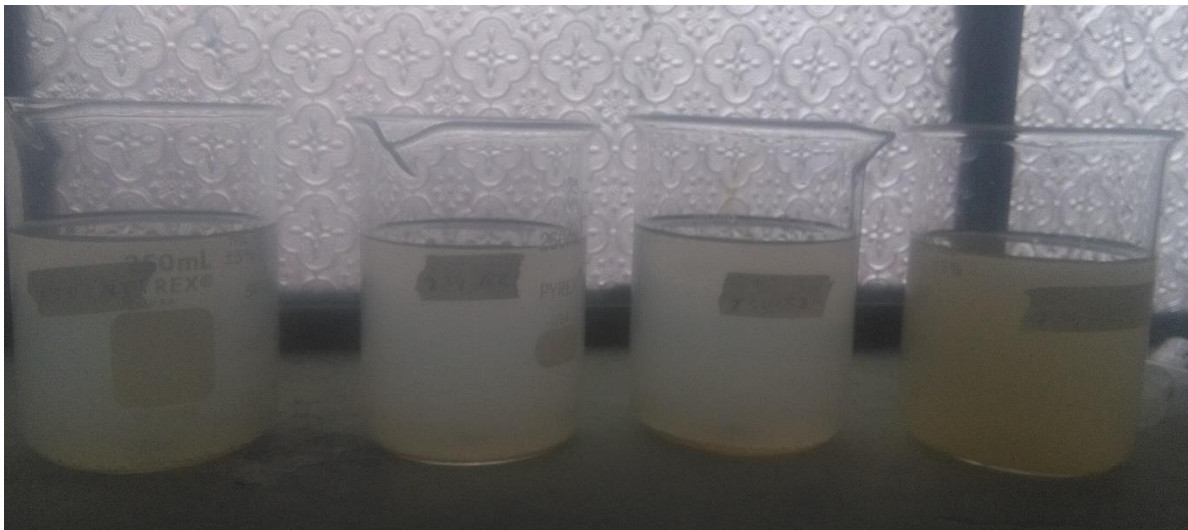
Figura 54.

Muestras de agua a 400 NTU de turbidez inicial antes de aplicar el extracto



Figura 55.

Muestras de agua una vez aplicado la dosis óptima de 150 mg/L de extracto a 400 NTU de turbidez inicial.



Anexo 10. Análisis de granulometría del suelo utilizado para preparar el agua a diferentes turbiedades

	GEOCONCRET H&M - INGENIEROS S.R.L.		OFICINA DE GESTION Y CONTROL DE CALIDAD						
	FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD		SECTOR :	LABORATORIO					
HM-001		CODIGO:		018-2021-MS-001					
DATOS DEL PROYECTO			DATOS DEL PERSONAL						
PROYECTO :	ENSAYO DE CUAGULACIÓN-FLOCCULACIÓN CON EXTRACTO DE OPUNTIA MACROCEPHALITRICHOPHYLLA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS*			GERENTE general:	ING. MARISOL DIAZ VARGAS				
UBICACIÓN :	DISTRITO: CHOTA; PROVINCIA: CHOTA; REGION: CAJAMARCA.			JEFE DE LABORATORIO:	ING. JOSMAR HAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ				
SOLICITANTE :	GIOSEPPE HOYOS DELGADO			TECNICO DE LAB :	BACH. FANN YLUITH RUIZ BURGA				
DATOS DEL MUESTREO			CLASIFICACION DEL SUELO						
CALICATA :	C - 1	CODIGO MUESTRA:	018-M1-001	FECHA :	NOVIEMBRE 2021				
MUESTRA:	M-1				GW				
STANDARD TEST METHOD FOR PARTICLE SIZE ANALYSIS OF SOILS (A.A.S.H.T.O. T 88 - A.S.T.M. D 422) METODO DE ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO									
FRACCION	TAMIZ		P. RET.	P. RET.	PORCENTAJE	PORCENTAJE	MUESTRA TOTAL HUMEDA		
	Nº	ABERTURA(mm)	PARCIAL	ACUMULADO	RET. ACUMULADO	QUE PASA	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	110° C
FRACCION GRUESA	3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)		1260.0
	2 1/4"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < Nº 4 (g)		1242.0
	2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > Nº 4 (g)		18.0
	1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > Nº 4 (g)		18.0
	1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > Nº 4 (g)		18.0
	3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > Nº 4 (g)		18.0
	1/2"	12.50	5.40	5.40	0.54	99.46	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > Nº 4 (g)		18.0
	3/8"	9.50	2.90	8.30	0.83	99.17	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > Nº 4 (g)		18.0
	1/4"	6.35	0.80	9.10	0.91	99.09	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > Nº 4 (g)		18.0
	Nº 4	4.75	3.50	12.60	1.26	98.74	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > Nº 4 (g)		18.0
FRACCION FINA	Nº 10	2.00	4.80	17.40	1.74	98.26	PESO TOTAL MUESTRA SECA < Nº 4 (g)		17.40
	Nº 20	0.85	5.20	22.60	2.26	97.74	PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)		1000.0
	Nº 40	0.43	3.90	26.50	2.65	97.35	PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)		1000.0
	Nº 60	0.25	1.90	28.40	2.84	97.16	PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)		1000.0
	Nº 140	0.11	3.80	32.20	3.22	96.78	PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)		1000.0
	Nº 200	0.08	0.10	32.30	3.23	96.77	PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)		1000.0
	CAZOLETA	--	967.7	1000.0	100.0	0.0	PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)		1000.0
TOTAL			1000.0				PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)		1000.0
ANALISIS FRACCION GRUESA		ANALISIS FRACCION FINA							
TOTAL	W ₀ =	TOTAL	W ₀ =						
	17.40		17.40						
CORRECCION CUARTO:		CORRECCION CUARTO:							
	5.00		5.00						
PESO PORCION SECA:		PESO PORCION SECA:							
	5 =		5 =						
	822.60		822.60						
D60 =	D30 =	D10 =							
Cu =									
OBSERVACIONES:	LA MUESTRA EN ESTUDIO HA SIDO CLASIFICADA SEGUN LA NORMA (A.A.S.H.T.O. M 145 - THE CLASSIFICATION OF SOILS - AGGREGATE MIXTURES FOR HIGHWAY CONSTRUCTION PURPOSES), Y SE DESCRIBE COMO PRESENTA UNA PROPORCION DE ARENA FINA (0.91%) ARENA GRUESA (0.91%), LIMOS Y ARCILLAS (96.77%)								
CLASIFICACION GENERAL	SUELO POBRE								
COMO SUB PASANTE									