

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ESTUDIO DE LOS MUCÍLAGOS COMO
COAGULANTES – FLOCULANTES EN EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental



Autora:

Cinthia Evelyn Cardenas Salazar

Asesor:

M. Cs. Juan Carlos Flores Cerna

Trujillo - Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome la fortaleza para continuar en este proceso de alcanzar uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, Ciro y Rosa, los pilares fundamentales de mi vida, por su amor, sacrificio, por velar por mi bienestar y construir en mí, cimientos de responsabilidad y deseos de superación, sin dudar ni un solo minuto de mi capacidad e inteligencia.

A mis hermanos, Alexander y Silvia, quienes han sido mi guía y a pesar de los kilómetros que en ocasiones nos distanciaban, han estado siempre en lugar indicado para mí, llenándome con mensajes de aliento, aun cuando las cosas se complicaban.

A todos ustedes, con amor.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, a mi facultad, gracias por haberme permitido formarme en ella, a través de los docentes, quienes con sus conocimientos y apoyo han constituido la base de mi vida profesional.

Así también, quiero agradecer al M.Cs. Juan Carlos Flores Cerna, asesor de esta tesis, quien fue mi principal guía durante este proceso, por su orientación y ayuda al guiar mis ideas, siendo un aporte invaluable para el desarrollo de esta investigación.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad Problemática	10
1.2. Formulación del problema	28
1.3. Objetivos	28
1.4. Hipótesis	29
CAPÍTULO II. MÈTODO	30
2.1. Tipo de investigación.....	30
2.2. Población y Muestra	30
2.3. Métodos de recolección de datos	33
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	34
2.5. Procedimiento	35
2.6. Aspectos éticos	38
CAPÍTULO III. RESULTADOS	39
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	69
4.1. Discusión	69
4.2. Conclusiones.....	74
REFERENCIAS	75
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica del mucílago <i>Opuntia ficus – indica</i>	21
Tabla 2 Clasificación taxonómica del mucílago <i>Moringa oleífera</i>	24
Tabla 3 Valores Máximos Permisibles (VMA).....	28
Tabla 4 Matriz de registro de investigaciones recopiladas.....	31
Tabla 5 Materiales.....	33
Tabla 6 Métodos de recolección de datos.....	33
Tabla 7 Técnicas e instrumentos para la recolección y análisis de datos.....	34
Tabla 8 Instrumentos de recolección de datos.....	34
Tabla 9 Concentración de los parámetros fisicoquímicos en investigaciones con <i>Opuntia ficus indica</i> y <i>Moringa oleífera</i>	40
Tabla 10 Comparación del pH inicial y final del tratamiento.....	41
Tabla 11 Comparación de turbiedad inicial y final del tratamiento.....	42
Tabla 12 Comparación de la DBO ₅ inicial y final del tratamiento.....	43
Tabla 13 Comparación de la DQO inicial y final del tratamiento.....	44
Tabla 14 Comparación de los SST inicial y final del tratamiento.....	46
Tabla 15 Comparación del pH inicial y final del tratamiento.....	47
Tabla 16 Comparación de turbiedad inicial y final del tratamiento.....	48
Tabla 17 Comparación del DBO ₅ inicial y final del tratamiento.....	50
Tabla 18 Comparación del DQO inicial y final del tratamiento.....	51
Tabla 19 Comparación del SST inicial y final del tratamiento.....	52
Tabla 20 Capacidad de remediación de los parámetros fisicoquímicos en investigaciones con <i>Opuntia ficus-indica</i> y <i>Moringa oleífera</i> , considerando tiempo de contacto y porcentaje de remoción.....	54
Tabla 21 Matriz de consistencia.....	84

Tabla 22 Ficha de resumen de la investigación E-muc1	86
Tabla 23 Ficha de resumen de la investigación E-muc2	87
Tabla 24 Ficha de resumen de la investigación E-muc3	88
Tabla 25 Ficha de resumen de la investigación E-muc4	89
Tabla 26 Ficha de resumen de la investigación E-muc5	90
Tabla 27 Ficha de resumen de la investigación E-muc6	91
Tabla 28 Ficha de resumen de la investigación E-muc7	92
Tabla 29 Ficha de resumen de la investigación E-muc8	93
Tabla 30 Ficha de resumen de la investigación E-muc9	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Imagen de <i>Opuntia ficus – indica (Nopal)</i>	21
Figura 2 Procedimiento para la obtención del coagulante <i>Opuntia ficus-indica</i>	22
Figura 3 Imagen de <i>Moringa oleífera</i>	23
Figura 4 Procedimiento para la obtención del coagulante <i>Moringa oleífera</i>	24
Figura 5 Diagrama de flujo de revisión bibliográfica y selección de estudios.....	36
Figura 6 Diagrama de flujo respecto al análisis de datos	37
Figura 7 Comparación de pH antes y después del tratamiento con <i>Opuntia ficus-indica</i>	41
Figura 8 Comparación de turbiedad antes y después del tratamiento con <i>Opuntia ficus-indica</i>	42
Figura 9 Comparación de DBO ₅ antes y después del tratamiento con <i>Opuntia ficus-indica</i>	44
Figura 10 Comparación de DQO antes y después del tratamiento con <i>Opuntia ficus-indica</i>	45
Figura 11 Comparación de SST antes y después del tratamiento con <i>Opuntia ficus-indica</i>	46
Figura 12 Comparación del pH antes y después del tratamiento con <i>Moringa oleífera</i>	47
Figura 13 Comparación de turbiedad antes y después del tratamiento con <i>Moringa oleífera</i>	49
Figura 14 Comparación del DBO ₅ antes y después del tratamiento con <i>Moringa oleífera</i>	50
Figura 15 Comparación del DQO antes y después del tratamiento con <i>Moringa oleífera</i>	51
Figura 16 Comparación del SST antes y después del tratamiento con <i>Moringa oleífera</i>	52
Figura 17 Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de turbiedad en el tratamiento de aguas residuales industriales con <i>Opuntia ficus-indica</i>	55
Figura 18 Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de turbiedad en el tratamiento de aguas residuales industriales con <i>Moringa oleífera</i>	56
Figura 19 Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de DBO ₅ en el tratamiento de aguas residuales industriales con <i>Opuntia ficus-indica</i>	57
Figura 20 Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de DBO ₅ en el tratamiento de aguas residuales industriales con <i>Moringa oleífera</i>	58

Figura 21 Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de DQO en el tratamiento de aguas residuales industriales con <i>Opuntia ficus-indica</i>	59
Figura 22 Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de DQO en el tratamiento de aguas residuales industriales con <i>Moringa oleífera</i>	60
Figura 23 Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de SST en el tratamiento de aguas residuales industriales con <i>Opuntia ficus-indica</i>	61
Figura 24 Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de SST en el tratamiento de aguas residuales industriales con <i>Moringa oleífera</i>	62
Figura 25 Comparación de las concentraciones de DBO ₅ con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de <i>Opuntia ficus-indica</i>	63
Figura 26 Comparación de las concentraciones de DBO ₅ con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de <i>Moringa oleífera</i>	64
Figura 27 Comparación de las concentraciones de DQO con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de <i>Opuntia ficus-indica</i>	65
Figura 28 Comparación de las concentraciones de DQO con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de <i>Moringa oleífera</i>	66
Figura 29 Comparación de las concentraciones de SST con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de <i>Opuntia ficus-indica</i>	67
Figura 30 Comparación de las concentraciones de SST con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de <i>Moringa oleífera</i>	68

RESUMEN

El presente estudio está enfocado a la búsqueda de métodos de coagulación – floculación, empleando especies naturales para el tratamiento de las aguas residuales que se encuentran altamente contaminadas; por lo que, además de ser un método alternativo para disminuir la utilización de productos químicos, consta de una metodología accesible y de viabilidad económica. El objetivo de la tesis está orientada al estudio de mucílago como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales. Para ello, se realizó el análisis de diversos estudios que contenían las variables, encontrando en su mayoría estudios con la aplicación de *Opuntia ficus indica* y *Moringa oleífera*. Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron: pH, turbidez, DBO₅, DQO, SST y para determinar la capacidad remediadora, se hizo el análisis y comparación de los resultados obtenidos con cada especie. Asimismo, se evaluó el tiempo de contacto y porcentaje de remoción de la turbidez, DBO₅, DQO y SST entre los mucílago y el agua industrial.

Por otro lado, se hizo una comparación de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA.

Palabras clave: mucílago, *Opuntia ficus indica*, *Moringa oleífera*, floculantes, coagulantes, tratamiento de aguas residuales industriales.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Desde los inicios de la revolución industrial, se ha manifestado un crecimiento gradual en la creación de industrias y en la mejora de sus tecnologías (Romero et al., 2014, p. 89). Sin embargo, este crecimiento ha traído consigo uno de los desafíos más grandes a nivel mundial, el de garantizar la calidad de los recursos hídricos, dado que las industrias en sus procesos de producción hacen uso y vierten a los ecosistemas acuáticos desechos industriales, urbanos y productos utilizados para el bienestar humano a través de sus aguas residuales (Robledo et al., 2017, p. 222).

Actualmente, la contaminación de aguas debido a las descargas industriales constituye una preocupación a escala global y la principal causa es la inexistencia de una adecuada red para la recolección de las aguas servidas, sin dejar de mencionar los efectos que tienen los contaminantes presentes en los efluentes residuales industriales sobre los cuerpos de agua, el entorno en el que se vierten y en la salud humana, estos son diversos y con características bastante heterogéneas (Ramírez et al., 2013, p. 43).

Según Amarildo (2011), las principales industrias que generan mayor volumen de efluentes son las siguientes: curtiembres, textil, bebidas, alimentos, papel y refinerías de petróleo. Además, el sector industrial no cuenta con autorizaciones de vertimiento vigentes y sus vertidos industriales se realizan sin tratamiento directamente a las fuentes de agua o al alcantarillado de uso poblacional (p. 11).

Por tal motivo, surge la necesidad de buscar tratamientos que contrarresten esa situación; ya que, el agua residual tratada constituye un valioso recurso que podría sustituir un importante volumen de agua de primer uso, en actividades que no requieren

de la calidad de agua potable. El impacto de dicho tratamiento incidirá principalmente en la reducción de los riesgos para la salud pública, la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, la conservación original de la calidad de las aguas en las fuentes naturales superficiales y subterráneas y un mejor aprovechamiento por su disponibilidad continua (Amarildo, 2011, p. 4).

Una de las formas de tratamiento de las aguas residuales son las comúnmente mencionadas plantas de tratamiento para aguas residuales (PTAR), que aseguran la obtención de un líquido libre de contaminantes y listo para ser potabilizado, pero el problema radica en los costos que tienen dichas plantas. (Rodríguez et al., 2010, p. 59); puesto que, sus procesos de tratamiento suponen inversiones de capital elevado y costos de operación altos que la mayoría de las comunidades no están en capacidad de asumir ni de financiar (Romero, 2000, citado por Cedrón y Chibilleros, 2017).

A ello se suma, el informe de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2016) que da a conocer que, del total del volumen de aguas residuales evacuadas por las conexiones de alcantarillado, el 54.7% es tratado en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), pero este tratamiento en las PTAR es deficiente, debido a que, en la mayoría de ellas, los parámetros como coliformes termotolerantes y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales establecidos por la normatividad.

Kelderman y Kruis (2001) sostienen que la coagulación es otro método eficiente para la reducir los índices de los parámetros del agua y se realiza mediante a la adición de coagulantes, por lo general de naturaleza metálica, los cuales poseen iones cargados positivamente como Al^{3+} o Fe^{3+} que cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo la aglomeración y la formación de coágulos (citado por

Cendales y Cañón, 2016, p. 3). Sin embargo, la aplicación de estos coagulantes acarrea serios impactos negativos en las plantas de tratamiento principalmente porque genera lodos de desecho difíciles de tratar (Cendales y Cañón, 2016, p. 3).

Por ello, es necesario la exploración de nuevas alternativas que contribuyan al tratamiento de aguas residuales, con un menor gasto, tanto económico como energético. En un intento de contribuir a la reducción de los problemas medioambientales, en esta investigación se realiza un estudio de especies vegetales, específicamente de plantas con propiedades mucilaginosas, que actúan como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales.

Los mucílagos son polisacáridos de origen vegetal que cuando son mezclados con agua incrementan su viscosidad y pueden ser encontradas en algas, semillas, raíces. Dentro de sus propiedades más destacables de los mucílagos son su inocuidad y su capacidad para retener humedad por ser hidrocoloides (Ramírez et al., 2016, p. 1). Asimismo, actúan como coagulantes y floculantes naturales siendo una alternativa viable, puesto que tienen ventajas en las temáticas de biodegradación, baja toxicidad y baja tasa de producción de lodos (Morales et al., 2004).

A continuación, se señala antecedentes internacionales, nacionales y locales, lo cual permiten un enriquecimiento y entendimiento de la presente investigación.

Vaca et al. (2014), en su investigación evaluó la efectividad del nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario en el tratamiento de aguas residuales mediante pruebas de jarras. Las aguas residuales eran provenientes del sistema de drenaje de la Universidad Autónoma Metropolitana y sus valores de pH iniciales se encontraban entre 6.8 y 7.1, una demanda química de oxígeno (DQO) inicial en el intervalo de 198 a 215 mg/L, un contenido de coliformes del orden de 5.1×10^6 UFC/100 mL y una

turbiedad en el intervalo de 289 y 367 UNT. En su metodología, empleó una dosis entre 10 y 70 mg/L de polvo de nopal y el tiempo de agitación fue 3 min a 150 rpm con tiempo de reposo de 30 min. Los resultados indicaron que la turbiedad se redujo desde 65% hasta 92%, los coliformes iniciales disminuyeron en 3.8 Log y se eliminó el 37.9% de la DQO. Del estudio se concluye, la aplicabilidad del polvo de nopal como un coagulante primario alternativo, de bajo costo, gran efectividad y sin efectos tóxicos al medio ambiente.

Por otro lado, Perdomo (2018), evaluó la eficiencia de las semillas de *Moringa Oleífera*, *Cassia Fistula* y *Guásuma Ulmifolia* en el tratamiento de las aguas residuales de la unidad de producción minera entable La Peña. El método se realizó mediante extracción etanoica y homogenización proteica con agua destilada y cloruro de sodio (NaCl), utilizando el equipo de prueba de jarras a escala de laboratorio para los estudios de coagulación y floculación. Para ello, se tomaron muestras de agua en diferentes niveles de producción. Los resultados demostraron que, en comparación a la remoción de turbiedad y sólidos totales (SST) de las semillas de *Guásuma Ulmifolia* y *Cassia Fistula*, las semillas de *Moringa Oleífera* eran más eficientes, con porcentajes de remoción de 89% turbiedad y 96% SST. Además, la dosis óptima encontrada fijo un volumen de 2 mL a un porcentaje de concentración al 1% del coagulante *Moringa Oleífera*, las demás disposiciones fueron: tiempo de mezcla rápida óptimo de 75 segundos y tiempo de mezcla lenta óptimo de 20 minutos. Asimismo, esta prueba determinó una eficiencia total en remoción de turbiedad de 96%, color 95.1% y remoción de mercurio 99.96%.

Así también, Carhuamanca (2013), evaluó la optimización de la reducción del contenido de lactosa del lactosuero producido por las industrias lácteas utilizando el

mucílago nopal (*Opuntia ficus indica*). El estudio se realizó mediante medición estadística de las variables, distribuidas bajo un diseño completamente al azar (DCA), teniendo 4 tratamientos con 2 repeticiones por cada uno, donde el mucílago nopal se homogenizó a concentraciones de 0, 1, 3 y 5 % p/v respecto al lactosuero. Las variables evaluadas acidez y pH se analizaron hasta no presentar diferencia y para determinar el tiempo de tratamiento, siendo 10 días. Los resultados más eficientes fueron: para la acidez el tratamiento 3% (30 ml de mucílago nopal por litro de lactosuero) con un valor de 0.270 g/L; el pH con el tratamiento 3%, con un valor 4.96; la lactosa con el tratamiento 3%, con un valor de 84.54 % de reducción de lactosa y en el caso de la turbidez, se determinó al inicio y al final del tratamiento siendo el mejor tratamiento de 3 % con un valor de 11.20 NTU. Asimismo, se realizó el análisis de DQO para conocer la disminución del contenido de oxígeno disuelto en el agua y el mejor tratamiento fue de 3%, con un valor máximo de 80 mg/L de DBO, siendo un valor permitido para efluentes, mientras que la conductividad no presentó diferencia significativa.

Del mismo modo, Mendoza y Mendoza (2019), realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de determinar la eficiencia del uso de la savia de *Aloe barbadensis miller* en la remoción de aceites y grasas de las aguas residuales del taller mecánico “CLINICAR S.R.L” mediante floculación natural y aire disuelto. Para ello, se realizó pruebas al 95% de significancia estadística utilizando el análisis de variancia (ANOVA) para el proceso de coagulación- floculación. De los resultados obtenidos se observa que la eficiencia del gel del *Aloe barbadensis miller* es de más del 89% en la remoción de turbidez, más del 62% en la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), más del 79% en la remoción de grasas y aceites (G y A), más del 82% en los sólidos suspendidos totales (SST) y superior al 83% de la conductividad eléctrica.

Asimismo, el análisis de los resultados indicó que la velocidad de agitación (RPM) tiene un efecto significativo sobre la remoción de grasas y aceites, obteniendo mejores resultados a velocidad de 60 RPM, seguido por la concentración del coagulante de 10g/200ml a 100g/200ml y tiempo de sedimentación de 5 y 30 minutos.

Además, Silva (2017), realizó una investigación con el objetivo de obtener el rendimiento de extracción del mucílago de la penca de tuna, su caracterización y la evaluación de su eficiencia en el tratamiento de aguas turbias. Para lo cual, se aplicó el diseño factorial fraccionado, considerando los siguientes factores y niveles: cantidad de agua - penca: 3/1 – 4/1, temperatura de extracción: 60 - 80°C y tiempo de extracción 2 - 4 horas; obteniendo como resultado un polvo blanquecino (mucílago seco). Al realizar la caracterización del mucílago, mediante el análisis proximal, se obtuvieron los siguientes resultados para los límites de: humedad, que varía entre 56% a 74%, proteínas de 1.9% a 4.10%, cenizas de 1.44% a 2.20%, grasas de 0.07% a 0.1% y carbohidratos de 20.21% a 39%. Con respecto a la aplicación del mucílago extraído en el proceso de clarificación de aguas turbias, se utilizó un diseño factorial por bloques y la turbidez inicial fue de 500 NTU y 1 000 NTU y la concentración del mucilago con niveles de 30 ppm y 50 ppm, y como bloques a los tratamientos de extracción se obtuvo la máxima remoción de turbidez en un intervalo de 86% a 88.9%, cuando la turbidez es de 1 000 NTU.

A su vez, Montenegro (2019), en su estudio comprobó la eficiencia de dos recursos vegetales hidocoloides que son el mucílago de la *Opuntia ficus indica* (tuna) y la goma de *Caesalpinia spinosa* (tara) en la capacidad de mejorar la calidad del agua residual del camal del distrito de José Leonardo Ortiz. El diseño del estudio fue es cuasi- experimental, mediante la prueba de jarras con tres dosis diferentes de 40 mL, 60 mL y 80 mL con una muestra de 8 litros. Luego del

tratamiento los análisis físicos y químicos cambiaron para el coagulante natural de la goma de tara y el mucílago de la tuna para las diferentes dosis: pH ácido entre 4.31-4.41, la conductividad eléctrica aumentó entre 2.88 mS/cm - 4.07 mS/cm, la turbidez bajó entre 5.30 UNT- 240 UNT, siendo la dosis más eficiente la goma de tara en 40ml, los sólidos totales disueltos aumentaron entre 1 700 ppm -1 811 ppm, la DQO₅ solo la dosis de goma de tara bajo de 60 mL con 752 mg/L, la DBO₅ no bajo en ninguno de los tratamientos. Concluyendo que, de los dos tratamientos, el más eficiente fue el hidrocoloide de la goma de tara con la dosis de solución de 40 mL a una concentración de tara al 0.01 g/mL, reduciendo un 97.19% de turbiedad y 60.21 de DQO%.

Conjuntamente, Vásquez (2019), en su investigación tuvo como objetivo la comparación del uso de tara (*Caesalpinia spinosa*) con linaza (*Linum usitatissimum*) como coagulantes naturales para el tratamiento de efluentes provenientes de la sección avícolas del mercado de Puente Piedra. Para lo cual, tomó 60 litros de agua residual proveniente de avícolas del mercado. La tara y la linaza se usaron como polímeros naturales, de los cuales se extrajeron los pigmentos y grasas con el equipo soxhlet, además se utilizó el equipo de ensayo de jarras para la homogenización y coagulación. El primer ensayo se realizó para obtener la mejor dosis con 0.5,1,2,3 y 4 g/L, obteniendo la dosis de 1 g/L y para la linaza la dosis de 0.25, 0.5, 1, 2 y 3 g/L, obteniendo el 0.5 g/L como la mejor dosis. Asimismo, para la comparación de los dos coagulantes se usó el diseño completamente al azar con tres tratamientos con las mejores dosis y la combinación: Tratamiento 1 la tara, Tratamiento 2 linaza y el Tratamiento 3 la combinación de la mejor dosis de tara y linaza. Los resultados de eficiencia de remoción de los parámetros de efluentes de agua residual fueron para turbidez de 87.19%, DBO₅ de 55.79%, DQO de 53.19%, sólidos suspendidos totales de 32.03% y aceites y grasas de 36.94%. Se concluyó que el mejor tratamiento fue la

combinación de tara y linaza en proporciones de 0.5 y 0.25 g/L, además de ser buenos coagulantes naturales para tratar efluentes provenientes de avícolas.

Por último, Castillo y Silva (2018), desarrollaron un trabajo con la finalidad de estudiar la influencia del nopal *Opuntia ficus – indica*, como coagulante – floculante en la remoción de sólidos totales, DBO₅ y turbidez en el efluente de la empresa agroindustrial Casa Grande S. A. como tratamiento primario alternativo antes de ser usada como agua de riego. Para ello, utilizó el sistema de prueba de jarras y se obtuvo el mucílago de nopal mediante maceración a concentraciones de 20%, 40%, 60% y 80%. Los experimentos se desarrollaron a una velocidad de agitación lenta de 50 RPM por 18 minutos y un tiempo de sedimentación de 12 horas a condiciones ambientales y se sometió a velocidades de agitación rápida de 100 RPM, 200 RPM y 300 RPM por 2 minutos. Se logró un porcentaje de remoción de sólidos totales de 57.06% con el tratamiento de coagulante – floculante al 80% con una velocidad de agitación rápida de 200 RPM, la máxima remoción de DBO₅ fue de 37.88% con el tratamiento de coagulante – floculante al 80% con una velocidad de agitación rápida de 100 RPM y para el parámetro de turbidez se logró la remoción de 85.45% con el tratamiento de coagulante – floculante al 80% con una velocidad de 100 RPM.

A continuación, se presentan las principales definiciones conceptuales que se utilizaran en el proyecto:

Coagulación – floculación

Es la adición de sustancias químicas y la provisión de mezcla, para que las partículas y algunos contaminantes disueltos se agrupen en partículas más grandes que puedan retirarse mediante procesos de remoción de sólidos (Dempsey, 2006, citado por Guzmán et al., 2013).

La coagulación – floculación con productos naturales consiste en el empleo de semillas de cultivos o plantas endémicas, para purificar el agua empleando sus propiedades coagulantes. La ventaja de este método es el ahorro de coagulante químico y el principal inconveniente es que el agua tratada con este método no puede ser almacenada más de 24 horas, ya que se inicia un proceso de descomposición del agua como consecuencia de la adición de sustancias orgánicas a ésta (García, 2007, p. 7).

Coagulantes naturales

La coagulación natural actúa mediante un proceso de neutralización de cargas, a través de la adición de extractos de plantas que contienen polifenoles (taninos), gomas, mucílagos o proteínas para generar la desestabilización coloidal (Banchón et al., 2016, p. 117). El proceso se da por la aglomeración de las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial. Algunos de estos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades (García, 2007, p. 11).

Factores de la coagulación

Dentro del proceso de coagulación existen factores externos que afectan el proceso; por lo que, es importante hacer mención de estos, sobre todo de aquellos que deben de ser controlados en la prueba de jarras (Pacheco y Zapana, 2018; p. 16).

- Influencia del pH: El pH es la variable más importante a tener en cuenta en la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo, en la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua (Andía, 2000, p. 16).

El rango de pH es en función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces

se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta (Andía, 2000, p. 16).

- Influencia de temperatura del agua: La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor (Restrepo, 2009, p. 9).
- Influencia de la dosis de coagulante: La cantidad de coagulante a usar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación. Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula y la formación de los microflóculos es muy escaso; por lo tanto, la turbiedad residual es elevada. Lo mismo ocurre con la alta cantidad de coagulante, ya que produce la inversión de la carga de la partícula y conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños, cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas; por lo que, la turbiedad residual es igualmente elevada (Andía, 2000, p. 17).
- Influencia de mezcla: El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente (Andía, 2000, p. 18).
- Influencia de turbiedad: Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido. Mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz y; es función del número, tamaño y forma de partículas (Andía, 2000, p. 19).

- Tamaño de partículas: Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc (Restrepo, 2009, p. 9).
- Relación cantidad – tiempo: La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc (Restrepo, 2009, p. 9).

Mucílagos

Los mucílagos son análogos por su composición y sus propiedades a las gomas; dan con el agua disoluciones viscosas o se hinchan en ella para formar una pseudodisolución gelatinosa. Se encuentran en las algas, en ciertos hongos, en los esfagnos y en muchos vegetales. Por oxidación dan ácido mícico y por hidrólisis, hexosas y pentosas (Vargas 2019, p. 306).

Especies de mucílagos

Opuntia ficus – indica

El nopal es una cactácea y arbusto que mide de 0,6 – 1 m de altura, densamente poblado de ramas. Posee tallos carnosos, áfilos con espinas, ramificados lateralmente de forma ovoide de 15 – 30 cm de largo y 13 – 21 cm de ancho, espinas una más grande que otras de 3,6 espinas y flores solitarias sésiles. Asimismo, sus hojas llamadas cladodios, en su interior contienen el mucílago, se designa como mucílagos a las macromoléculas osídicas que se disuelven más o menos en contacto con el agua para formar disoluciones coloidales o geles. (Vargas 2019, p. 306)

Opuntia ficus – indica, tiene el valor de usos múltiples, tanto en aspectos de alimentación humana como animal, pero el más destacable es el uso del mucílago de los cladiolos, tallos o raquetas para precipitar impurezas de agua para bebida humana a fin de hacerla lo más potable posible (Nogués et al., 2013, p. 1).

Figura 1

Imagen de Opuntia ficus – indica (Nopal)

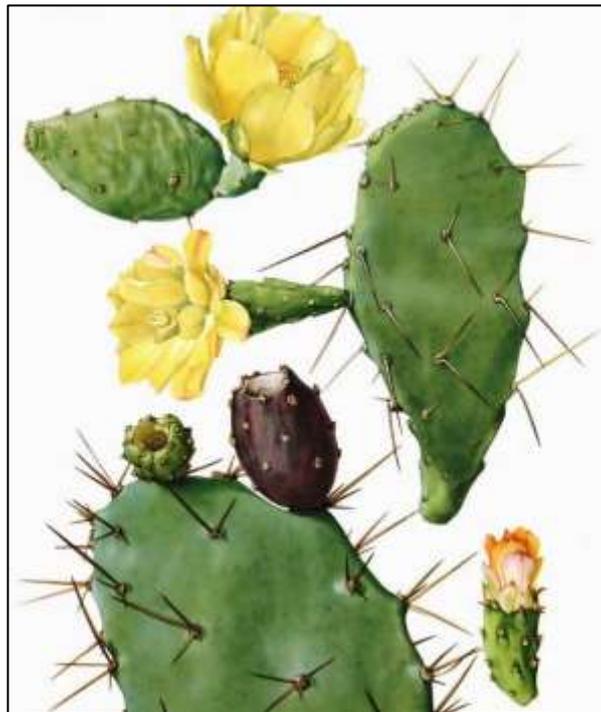


Tabla 1

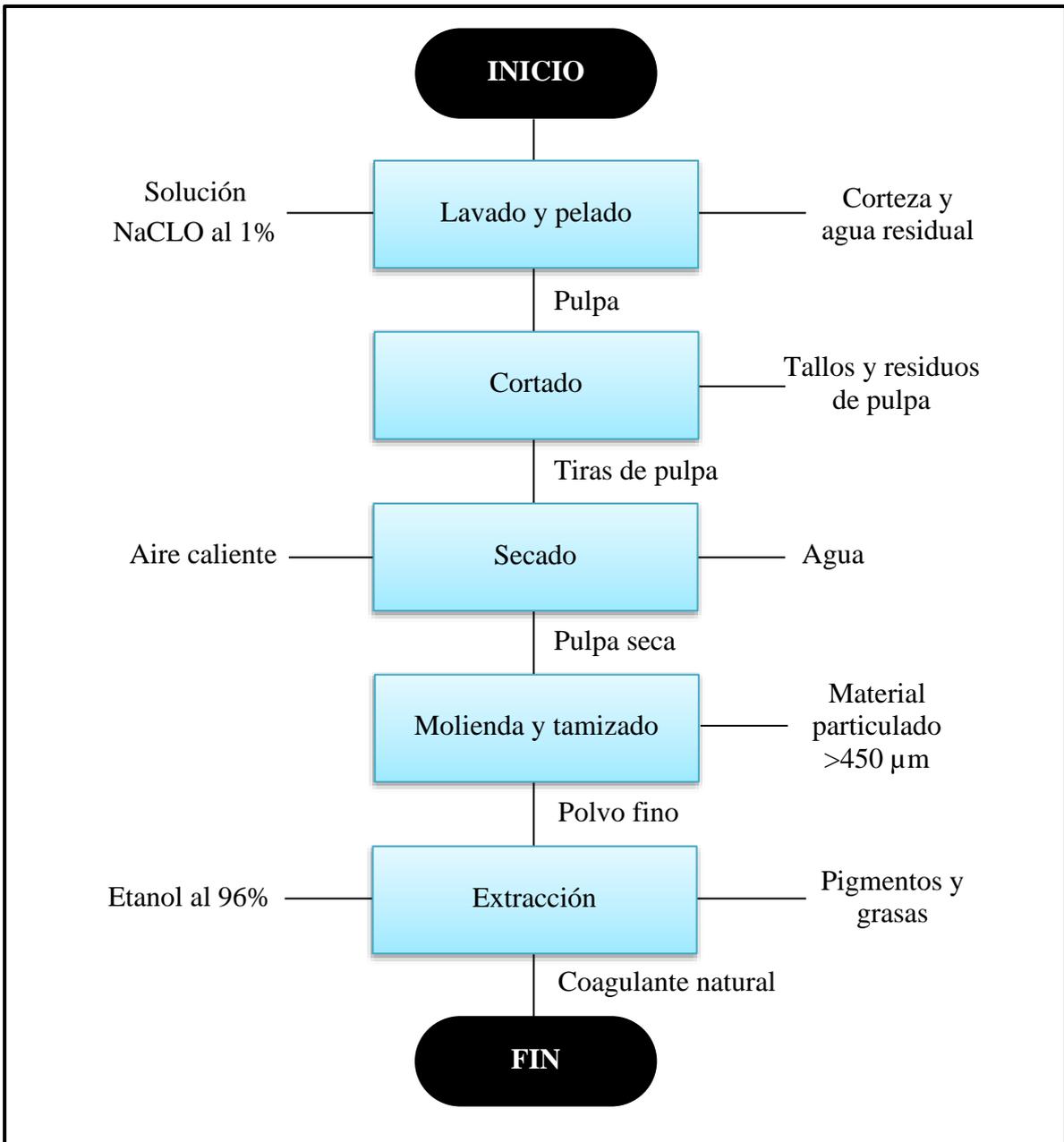
Clasificación taxonómica del mucílago Opuntia ficus – indica

Taxonomía	
REINO	Plantae
DIVISIÓN	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida
ORDEN	Caryophyllales
FAMILIA	Cactaceae
GÉNERO	Opuntia
ESPECIE	<i>ficus-indica</i>

Fuente: Gerencia Regional Agraria La Libertad (2009).

Figura 2

*Procedimiento para la obtención del coagulante *Opuntia ficus-indica**



Fuente: Chuiza et al. (2019).

Moringa oleífera

El género *Moringa* pertenece a la familia monogénero de las *Moringaceae*, incluye 13 especies de árboles y arbustos de hojas alternas, caducas, con hojuelas opuestas y enteras, con frutos y algunos con semillas oleaginosas. Este árbol alcanza una altura de 4 m, además de tener flores bisexuales con pétalos blancos, estambres amarillos y frutos en capsulas trilobuladas, dehiscentes de 20 a 40 cm de longitud, que contienen de 12 a 25 semillas por fruto (ADNAgro, 2016, p. 2 – 3).

Las semillas de *Moringa oleífera* al ser trituradas pueden remover los parámetros en tratamiento de aguas, de la cual se obtiene la sedimentación que, actúa como coagulante natural, siendo a la vez es una opción factible para sustituir de forma temporal o permanente el uso de productos químicos que se utilizan para tratar el agua (Suaréz, 2019, p. 19).

Figura 3

Imagen de Moringa oleífera

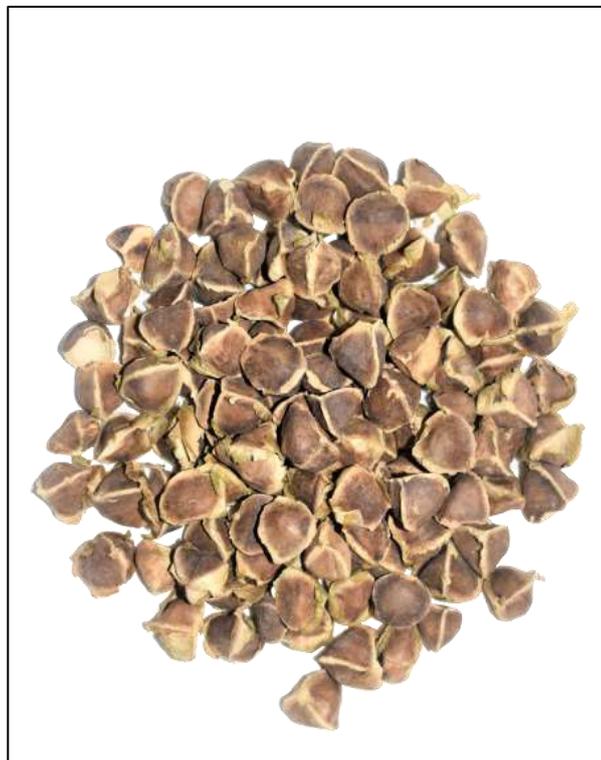


Tabla 2

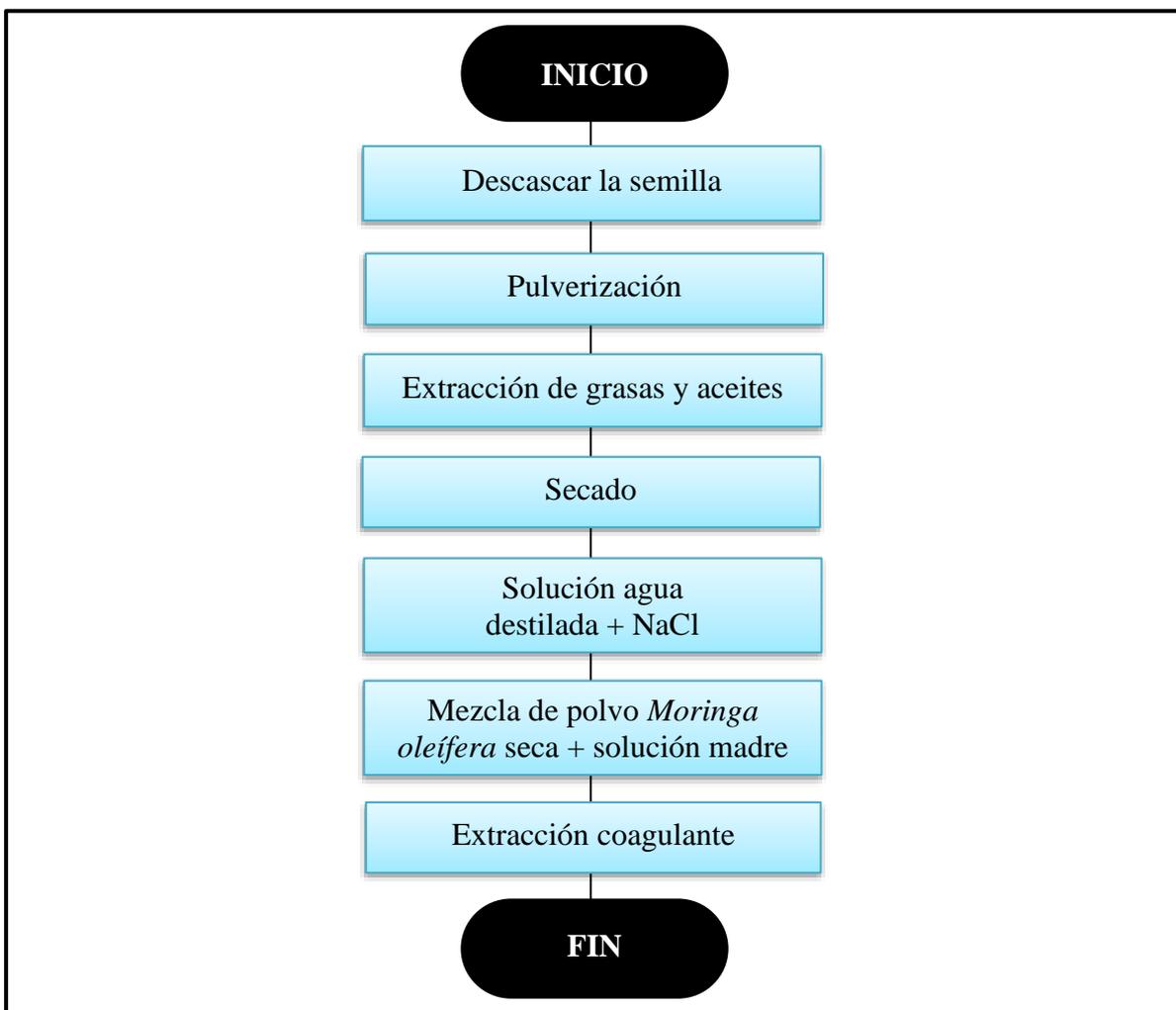
Clasificación taxonómica del mucílago Moringa oleífera

Taxonomía	
FAMILIA	Moringáceas
ORIGEN	Capparidales
CLASE	Magnoleopsida
GÉNERO	Moringa
ESPECIE	<i>Oleífera</i>

Fuente: Urquía (2017).

Figura 4

Procedimiento para la obtención del coagulante Moringa oleífera



Fuente: Perdomo (2018).

Aguas residuales

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014), son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (p. 2).

Aguas residuales industriales

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 1997) sustenta que, las aguas residuales industriales constituyen los desechos líquidos provenientes de una fábrica o empresa que produce cualquier clase de material o artículo sometido a oferta y demanda en el mercado y son diferentes de las aguas suministradas utilizadas por el establecimiento en sus procesos de producción.

Asimismo, Pascual (2016) indica que las residuales industriales provienen principalmente de:

- Operaciones de fabricación por vía húmeda.
- Precipitación.
- Lavado y refrigeración de gases, líquidos y sólidos.
- Producción de calor y energía.
- Transporte.
- Remojo o hinchado de sustancias no solubles.
- Destilaciones.
- Filtraciones.
- Transformaciones químicas.
- Limpieza de máquinas, botellas, etc.
- Higiene personal.

Tipos de aguas residuales industriales

Pascual (2016) sustenta que existen diversos tipos de aguas residuales industriales, a continuación, se presentan:

- Líquidos residuales: Derivan directamente de la fabricación de productos. Consisten en disoluciones que contienen los productos empleados en el proceso productivo, por ejemplo: lejías negras, baños de curtido de pieles, alpechines, baños de electroplatinado, líquidos madre de industria alimentaria, etc.
- Aguas residuales de proceso: Se originan en la utilización del agua como medio de transporte, lavado, refrigeración directa, etc. y está contaminada con los productos de fabricación o con los líquidos residuales. Su concentración por agentes contaminantes es diez veces inferior a la de los líquidos residuales, pero su volumen puede llegar a ser 10-50 veces mayor.
- Aguas de refrigeración: Aquellas aguas que no han entrado en contacto con los productos y; por tanto, la contaminación que arrastran es su temperatura.
- Aguas de drenaje: Proviene de las aguas pluviales, siendo de contaminación baja y procede de zonas de almacenamiento de productos al aire libre, derrames, etc.

Parámetros de las aguas residuales industriales

Para realizar el estudio químico-físico de las aguas residuales industriales, se determinaron los siguientes parámetros ambientales:

- pH: Es una escala numérica utilizada para especificar la acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Es el logaritmo negativo en base 10 de la actividad del ion hidrógeno, donde las soluciones con un pH menor a 7 son ácidas y las soluciones con un pH mayor a 7 son alcalinas o básicas (Vazquez y Guadalupe, 2016, p. 16).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): Se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable,

presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia (Ramalho, 2003, citado por Raffo y Ruiz, 2014).

- Demanda química de oxígeno (DQO): Representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución (agua residual) (Ramírez et al., 2008, p. 13).
- Sólidos suspendidos totales (SST): Existen dos tipos, el primero son los sólidos suspendidos que son apreciables a la vista y pueden ser separados por métodos sencillos como sedimentación, cribas o filtros; el segundo son los conjuntos de coloides y sólidos disueltos que requieren un proceso de separación mayor (Lasso, 2020, p. 14).

Valores Máximos Admisibles (VMA)

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aquellos valores de concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos o químicos, que caracterizan a un efluente (fluido procedente de una instalación industrial) que va a ser descargado a la red de alcantarillado y que, al ser excedidos, causan daño inmediato o progresivo a las instalaciones o infraestructura sanitaria (Plataforma Digital del Estado Peruano, 2021). En este trabajo se tendrá en cuenta el Decreto supremo N° 010-2019-VIVIENDA que establece los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Tabla 3

Valores Máximos Permisibles (VMA)

Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SST	500
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	100

Fuente: D.S. N° 010-2019-VIVIENDA

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el resultado del estudio de mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Estudiar los mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el pH y turbiedad, la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales en suspensión (SST), inicial y final en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos como coagulantes – floculantes.

- Evaluar el tiempo de contacto y porcentaje de remoción de la turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales en suspensión (SST), en el tratamiento de aguas residuales industriales con la aplicación de mucilagos como coagulantes – floculantes.
- Analizar los resultados obtenidos del estudio de los mucílagos en los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales y comparar con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- Los mucilagos actúan eficientemente como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales.

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1. Tipo de investigación

Según los datos empleados la presente investigación es **cualitativa**. Sampieri, et al. (2003) hace referencia a este tipo estudio como la utilización de datos recolectados sin alguna medición numérica, que permite descubrir y alcanzar preguntas de investigación en el proceso de interpretación sobre el estudio de mucilagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales (p. 3). Además, es de diseño **no experimental – transversal**, debido a que no se manipulan las variables de investigación y se recopilan datos para ser analizados en un periodo de tiempo determinado (Sampieri, et al., 2003).

De acuerdo al conocimiento que se tiene del objeto de estudio es una investigación **descriptiva**, ya que se trabaja sobre realidades y su característica fundamental es dar a conocer la interpretación de las variables de estudio.

2.2. Población y Muestra

2.2.1. Población

El presente estudio se considera de población finita y está dirigida en base a las revisiones documentales (páginas web, normativas vigentes, informes, revistas, trabajos de investigación) referentes al estudio de mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales.

La población del presente estudio está en base a 35 investigaciones entre artículos científicos, revistas y tesis.

2.2.2. Muestra

Para poder determinar la muestra de la investigación se empleó el método no probabilístico, por lo que se indagó diversas fuentes y se seleccionó 9 investigaciones con semejanza en las características relacionadas al estudio de mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales, a continuación, se describen:

Tabla 4

Matriz de registro de investigaciones recopiladas

Autor (es)	Año	Tipo	Título
Arango Mesa, Susana Ortega González, Wendy Paola Álvarez Vanegas, Alejandro Medina Arroyave, José David	2017	Tesis de licenciatura	Evaluación del extracto de semillas de <i>Moringa oleífera</i> como agente coagulante en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil.
Arias Hoyos, Arnol Hernández Medina, José Luis Castro Valencia, Andrés Fernando Sánchez Peña, Nazly Efredis	2017	Artículo científico	Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la <i>M. Oleífera</i> como coagulante natural.
De la Cruz Jara, Oscar Moya Chauca, Gleicer Delilach	2018	Tesis de licenciatura	Determinación de la dosificación óptima de agentes coagulantes y floculantes en relación con parámetros fisicoquímicos en el tratamiento del agua de Sanguaza de una empresa pesquera en Chimbote.
Espinosa Otálora, Rubén Darío Zuluaga Orjuela, Sebastián	2018	Tesis de licenciatura	Evaluación de la capacidad de dos coagulantes naturales para la

				remoción de cargas contaminantes en el efluente final de la empresa textil INRUZZ S.A.S con respecto al coagulante comercial sulfato de aluminio.
Gabino Lizeth	Curiñahui, Rocío	2018	Tesis de licenciatura	<i>Opuntia ficus-indica</i> como coagulante para remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de beneficio en avícola La Chacra.
Baldion Perea, Harold Steven	Bonilla, Juan David	2019	Tesis de licenciatura	Evaluación del efecto de la harina de semilla de <i>moringa</i> como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pelambre de una curtiembre en Bogotá.
Chuiza Rojas, Marco Raúl	Calderón, Segundo Hugo	2019	Artículo científico	Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>).
Vargas Escobar, Jorge Antonio	Borja Mayorga, Danielita			
Fernanda	Rennola Alarcón, Leonardo			
Córdova Merino, Erick André		2019	Tesis de licenciatura	Aplicación de sulfato de aluminio y tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán 2018.

Lasso Erazo, Narda Victoria	2020	Tesis de licenciatura	Contraste de metodologías usando un coagulante natural (<i>moringa</i>) y tratamiento electroquímico aplicado a aguas contaminadas con colorantes textiles.
-----------------------------	------	-----------------------	---

Tabla 5

Materiales

Materiales	Cantidad	Unidad
Laptop	1	Unidad
Impresora	1	Unidad
Lápices	4	Unidad
Libreta	1	Unidad
Papel bond	1	Millar
Microsoft Office	2	Unidad

2.3. Métodos de recolección de datos

Tabla 6

Métodos de recolección de datos

Pregunta	Descripción
¿Qué indagar?	El estudio de diferentes especies de mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales.
¿Cuál es el objeto?	Aguas residuales industriales.
¿Sobre qué aspectos?	Parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales.
¿Cómo evaluar?	Revisión documental de investigaciones científicas desarrolladas.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas e instrumentos empleados para la recolección y análisis de datos de esta investigación se describen en la siguiente tabla.

Tabla 7

Técnicas e instrumentos para la recolección y análisis de datos

Método	Técnica	Instrumento
Cualitativo	Revisión documental	Ficha de recolección de información
		Fichas de resumen

La técnica de revisión documental recogerá información de revistas, artículos científicos y tesis que contengan características relacionadas con la presente investigación. Asimismo, el detalle de los instrumentos empleados se describe en la Tabla 8.

Tabla 8

Instrumentos de recolección de datos

Instrumento	Fase de recolección de datos
Ficha de recolección de información	Se utilizó para el desarrollo de los objetivos específicos 1 y 2.
Fichas de resumen	Se empleó en el desarrollo de los objetivos específicos 1 y 3, permitiendo realizar un resumen de la normativa que rige el control de las aguas residuales industriales y para hacer una síntesis de las investigaciones recopiladas y analizar cuan eficiente es la aplicación de los mucílagos para el tratamiento de aguas residuales industriales.

2.5. Procedimiento

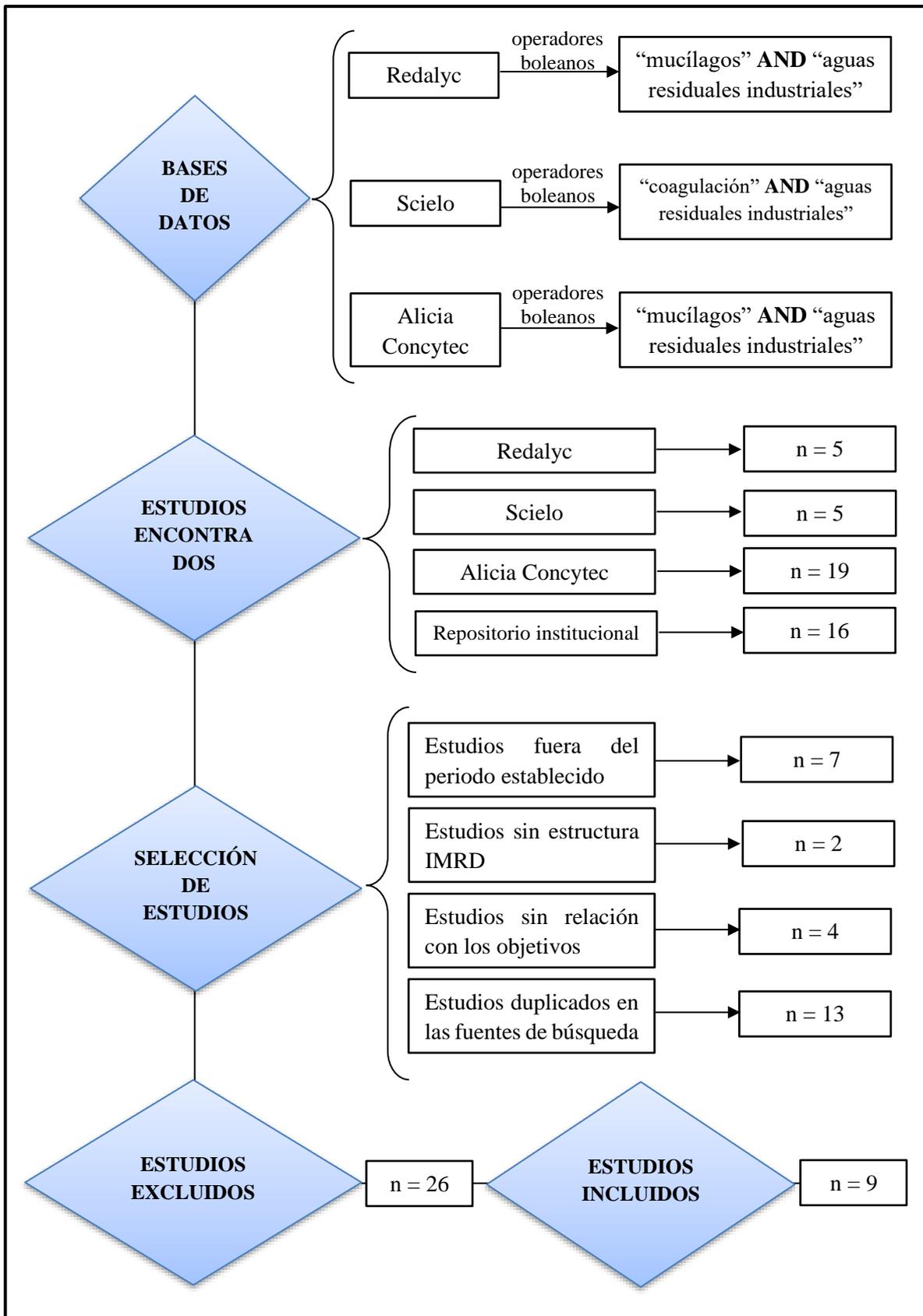
En el proceso de recopilación de información se tuvo en cuenta diversos criterios de selección e inclusión; primero, se realizó una revisión exhaustiva de aquellos estudios que contenían las palabras clave, tales como: mucílagos, floculantes, coagulantes, tratamiento de aguas residuales industriales, entre otros; posteriormente, se tuvo en cuenta el período de publicación de dichas investigaciones, siendo desarrolladas en un período de 10 años, desde el 2010 hasta el 2020.

Asimismo, la búsqueda de los estudios se realizó en diferentes bases de datos, tales como: Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), Scielo (Scientific Electronic Library Online o Biblioteca Científica Electrónica en Línea), Alicia Concytec y en Repositorios institucionales. Además, con el objetivo de filtrar aquella información que responda al problema de investigación, se diseñó un protocolo de combinación entre las palabras clave y operadores booleanos para obtener una búsqueda más eficaz en las bases de datos y poder realizar un análisis comparativo de los resultados encontrados en los documentos (Ver Figura N° 6).

De acuerdo a los criterios mencionados, se encontraron 35 estudios que guardaban relación con el objetivo de la presente investigación, de los cuales solamente 9 fueron seleccionados porque contribuyen eficazmente en el estudio de mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales, mientras que 26 documentos fueron excluidos por no cumplir los criterios de inclusión y no presentar la estructura IMRD (Introducción, métodos, resultados y discusión).

Figura 5

Diagrama de flujo de revisión bibliográfica y selección de estudios

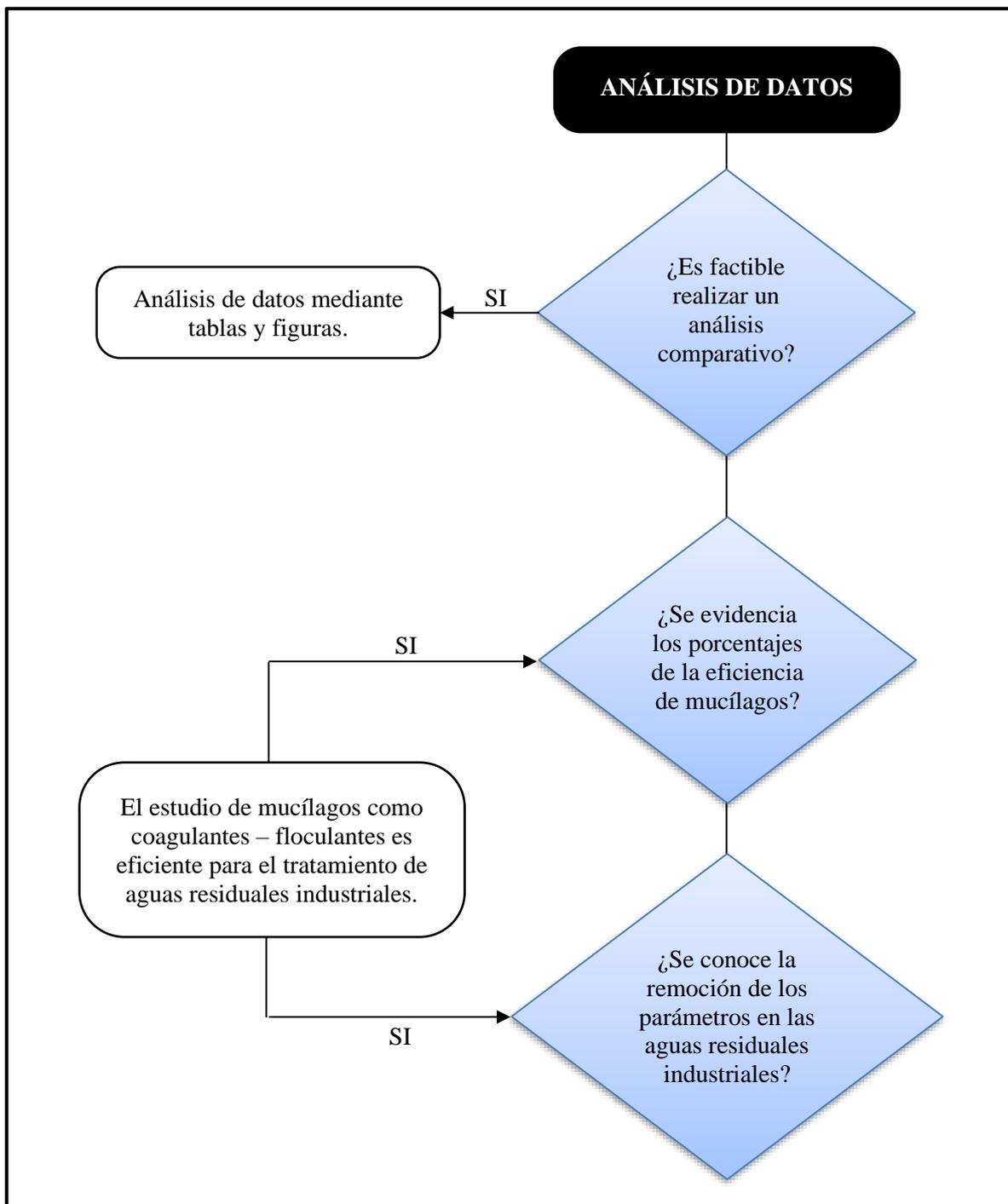


2.5.1. Análisis de datos

Luego del proceso de selección de investigaciones, se realizó un análisis de los datos que determinen la eficiencia de los mucílagos en la remoción de los diferentes parámetros físico – químicos de las aguas residuales industriales.

Figura 6

Diagrama de flujo respecto al análisis de datos



En seguida, se procedió a codificar y organizar la información proveniente del análisis documental, para lo cual se utilizó hojas de cálculo del programa Microsoft Excel 365 y permitió la elaboración de tablas estadísticas y representaciones gráficas, obteniendo un análisis sistematizado.

2.6. Aspectos éticos

El presente estudio se basó en el análisis documental de libros, revistas, artículos científicos, tesis y/o trabajos de investigación, siendo de vital importancia los aportes de cada autor en el desarrollo de este proyecto. Asimismo, se empleó leyes y normas vigentes; tal como, los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, para realizar la comparación entre los parámetros de la calidad de agua.

Por otro lado, esta investigación es original realizada por la autora, quién hizo la consulta de diversas fuentes bibliográficas para su elaboración, lo cual están debidamente citadas y referenciadas en el formato APA 7ta edición, con el fin de evitar algún tipo de plagio. Finalmente, los resultados de las investigaciones se presentan sin modificar y/o alterar los datos reales.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados del análisis de las investigaciones recopiladas, respecto al estudio de los mucílagos como coagulantes - floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales.

Como resultado se obtuvo 9 investigaciones y corresponden a 2 especies de mucílagos, tales como: *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera*.

3.1. Resultados de la concentración de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos como coagulantes – floculantes (*Opuntia ficus indica* y *Moringa oleífera*)

Tabla 9

Concentración de los parámetros fisicoquímicos en investigaciones con Opuntia ficus indica y Moringa oleífera

Especie de mucílago	Autor (es)	pH		Turbiedad (NTU)		DBO ₅ (mg/L)		DQO (mg/L)		SST (mg/L)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Gabino	-	-	311	20.35	1 997.5	1 407.0	2 947.5	2 131.75	540.3	191.43
	Córdova	7.25	8.01	85	12.1	751	352	1 500	971.33	-	-
	Espinoza y Zuluaga	3	3.01	87.4	79.5	-	-	525	274	582.5	280.1
	De la Cruz y Moya	6.52	8	-	-	146	74	-	-	214	120
	Chuiza et al.	4.18	5.32	361	80	4 915	4 230	2 895	2 120	1 525	1 052
<i>Moringa oleífera</i>	Lasso	7.06	7.06	152	7	-	-	550	205	-	-
	Baldion y Perea	12.2	6.19	2 741	167.75	2 515.5	846	4 762.5	1 222	2 354.5	269
	Espinoza y Zuluaga	3	3.09	87.4	29.5	-	-	525	391	582.5	147
	Arias et al.	7.5	7.5	73	31	2 037	1 620	5 143	3 695	509	408
	Arango et al.	6.94	6.41	410	57.4	113	82	603	355	3.45	1.82

Nota: La tabla 9 presenta los datos que fueron analizados en las diferentes investigaciones, considerando ciertos parámetros de calidad de agua, como: pH, turbiedad, DBO₅, DQO y sólidos totales en suspensión. Los datos identificados representan la concentración inicial del agua residual industrial y la concentración final luego de realizarse el tratamiento con la aplicación de los mucílagos (*Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera*).

3.2.1. Influencia del tratamiento con *Opuntia ficus-indica* en el tratamiento de aguas residuales industriales

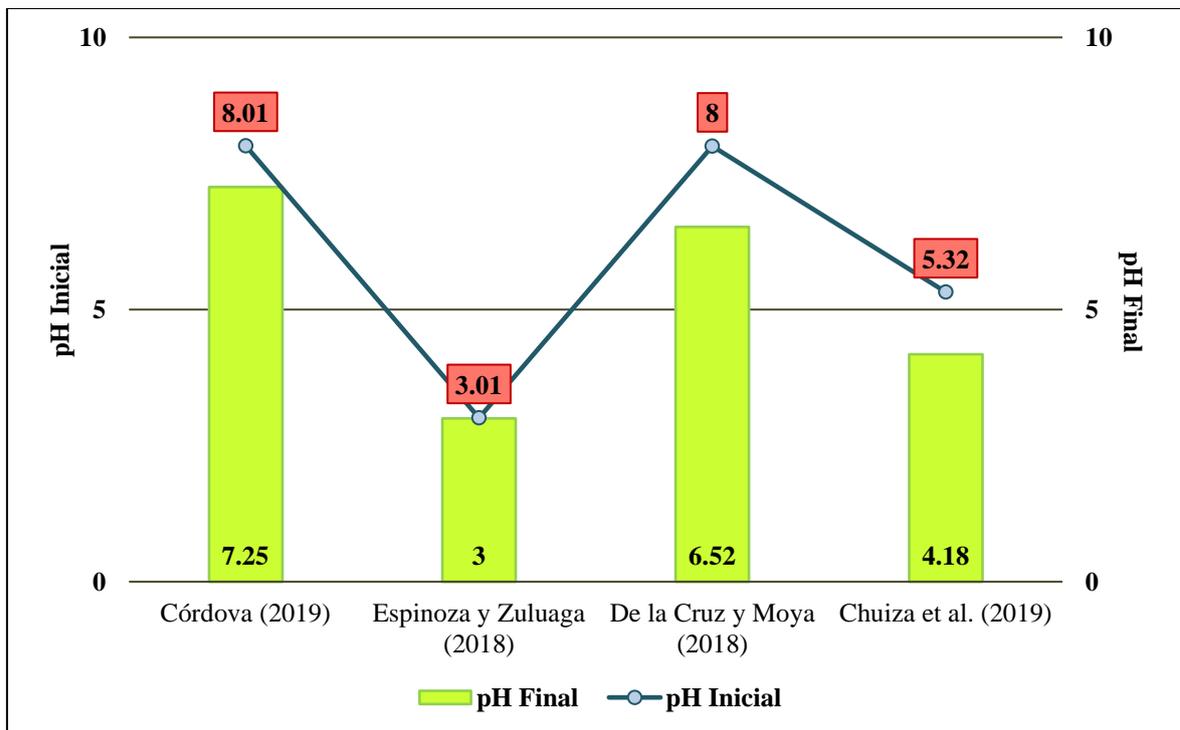
Tabla 10

Comparación del pH inicial y final del tratamiento

Autor (es)	pH Inicial	pH Final
Córdova	7.25	8.01
Espinoza y Zuluaga	3	3.01
De la Cruz y Moya	6.52	8
Chuiza et al.	4.18	5.32

Figura 7

*Comparación de pH antes y después del tratamiento con *Opuntia ficus-indica**



Nota: La figura 7 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 10, en la cual se observa cómo ha sido la variación del pH con la aplicación del coagulante *Opuntia ficus-indica*, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes

investigaciones recopiladas. Se determina que, en el estudio de Córdova (2019) y De la Cruz Moya (2018), el pH varía entre 7.25 a 8.01 y de 6.52 a 8, respectivamente, lo que significa que el agua es alcalina; mientras que, en el estudio de Espinoza y Zuluaga (2018) y Chuiza et al. (2019), sus valores de pH varían entre 3 a 3.01 y 4.18 a 5.32, respectivamente, lo que indica que el agua es ácida.

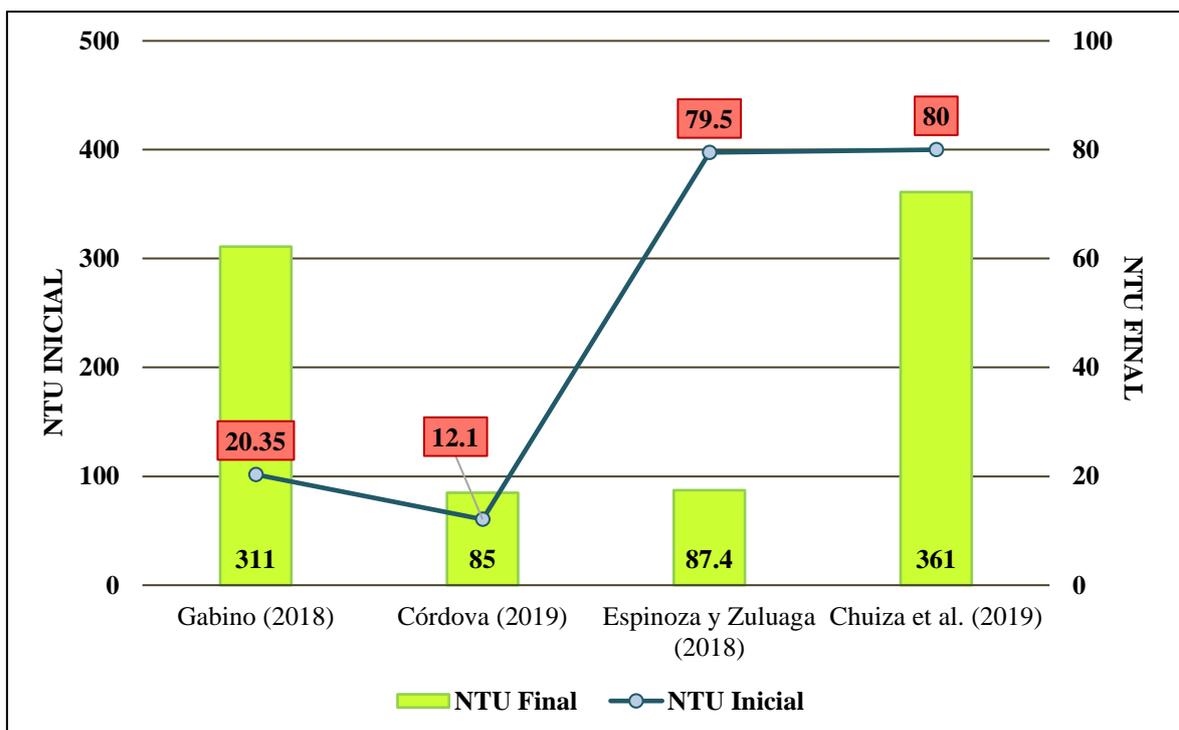
Tabla 11

Comparación de turbiedad inicial y final del tratamiento

Autor (es)	Turbiedad Inicial	Turbiedad Final
Gabino	311 NTU	20.35 NTU
Córdova	85 NTU	12.1 NTU
Espinoza y Zuluaga	87.4 NTU	79.5 NTU
Chuiza et al.	361 NTU	80 NTU

Figura 8

*Comparación de turbiedad antes y después del tratamiento con *Opuntia ficus-indica**



Nota: La figura 8 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 11, en la cual se observa cómo ha ido disminuyendo la turbiedad con la aplicación del coagulante *Opuntia ficus-indica*, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes investigaciones recopiladas. Se determina que, el estudio de Gabino (2018) es el más eficiente, presentando una turbiedad inicial 311 NTU y disminuyendo hasta 20.35 NTU; mientras que, el estudio de Espinoza y Zuluaga (2018), disminuye la turbiedad en menor cantidad, siendo su valor inicial 87.4 NTU y disminuyendo solo a 79.5 NTU.

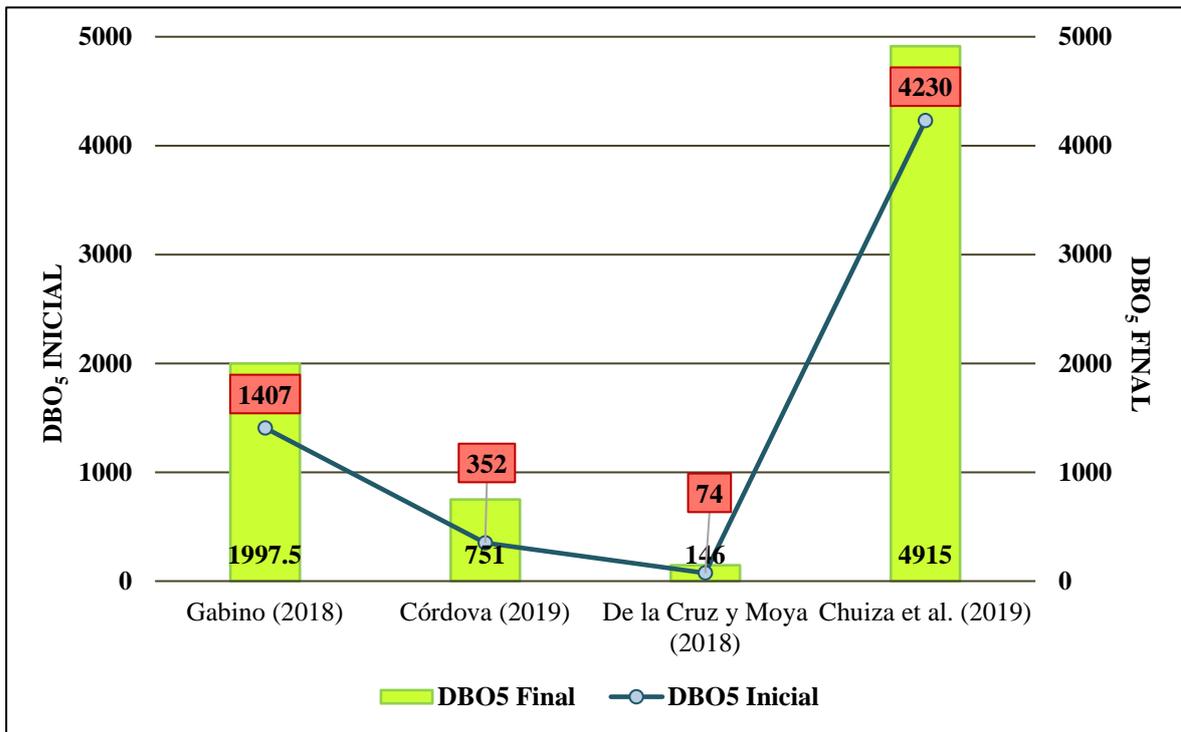
Tabla 12

Comparación de la DBO₅ inicial y final del tratamiento

Autor (es)	DBO₅ Inicial	DBO₅ Final
Gabino	1 997.5 mg/L	1 407.0 mg/L
Córdova	751 mg/L	352 mg/L
De la Cruz y Moya	146 mg/L	74 mg/L
Chuiza et al.	4 915 mg/L	4 230 mg/L

Figura 9

Comparación de DBO₅ antes y después del tratamiento con Opuntia ficus-indica



Nota: La figura 9 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 12, en la cual se observa cómo ha ido disminuyendo la DBO₅ con la aplicación del coagulante *Opuntia ficus-indica*, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes investigaciones recopiladas. Se determina que, el estudio de Chuiza et al. (2019) es el más eficiente, presentando una DBO₅ inicial de 4 915 mg/L y disminuyendo hasta 4 230 mg/L; mientras que, el estudio de De la Cruz y Moya (2018), disminuye la DBO₅ en menor cantidad, siendo su valor inicial 146 mg/L y disminuyendo solo a 74 mg/L.

Tabla 13

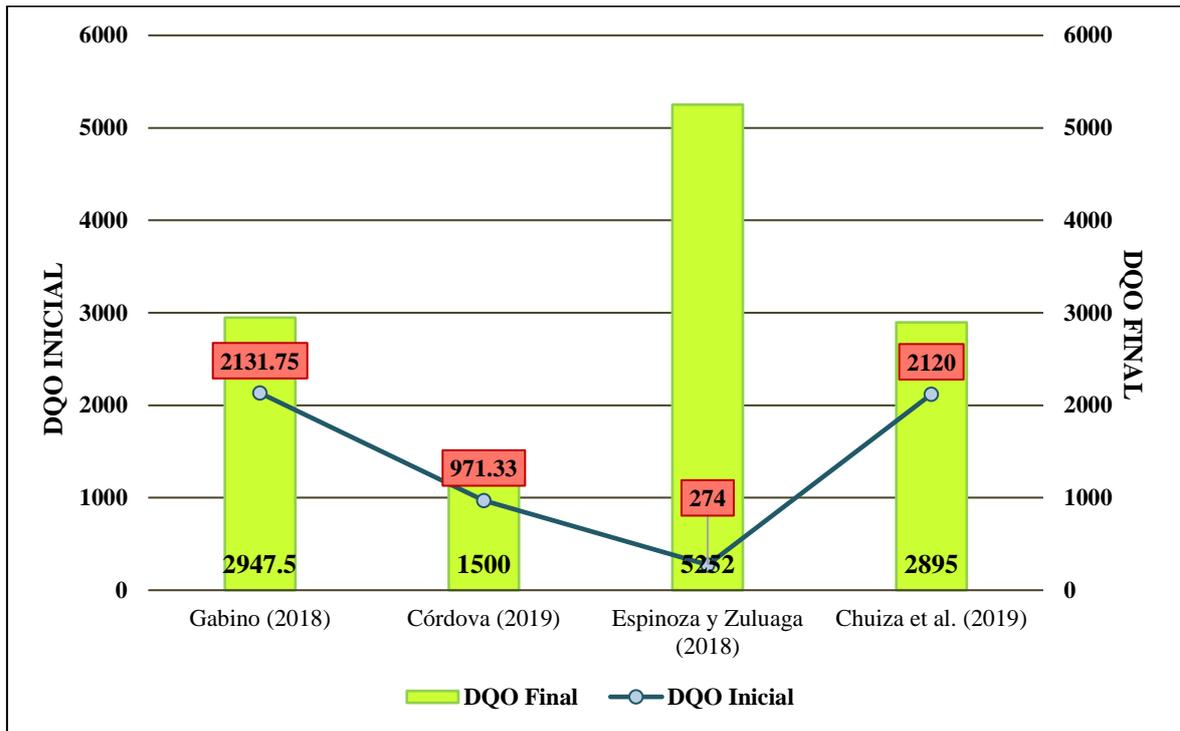
Comparación de la DQO inicial y final del tratamiento

Autor (es)	DQO Inicial	DQO Final
Gabino	2 947.5 mg/L	2 131.75 mg/L
Córdova	1 500 mg/L	971.33 mg/L

Espinoza y Zuluaga	525 mg/L	274 mg/L
Chuiza et al.	2 895 mg/L	2 120 mg/L

Figura 10

Comparación de DQO antes y después del tratamiento con Opuntia ficus-indica



Nota: La figura 10 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 13, en la cual se observa cómo ha ido disminuyendo la DQO con la aplicación del coagulante *Opuntia ficus-indica*, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes investigaciones recopiladas. Se determina que, el estudio de Espinoza y Zuluaga (2018) es el más eficiente, presentando una DQO inicial de 5 252 mg/L y disminuyendo hasta 274 mg/L; mientras que, el estudio de Córdova (2019), disminuye la DQO en menor cantidad, siendo su valor inicial 1 500 mg/L y disminuyendo solo a 971.33 mg/L.

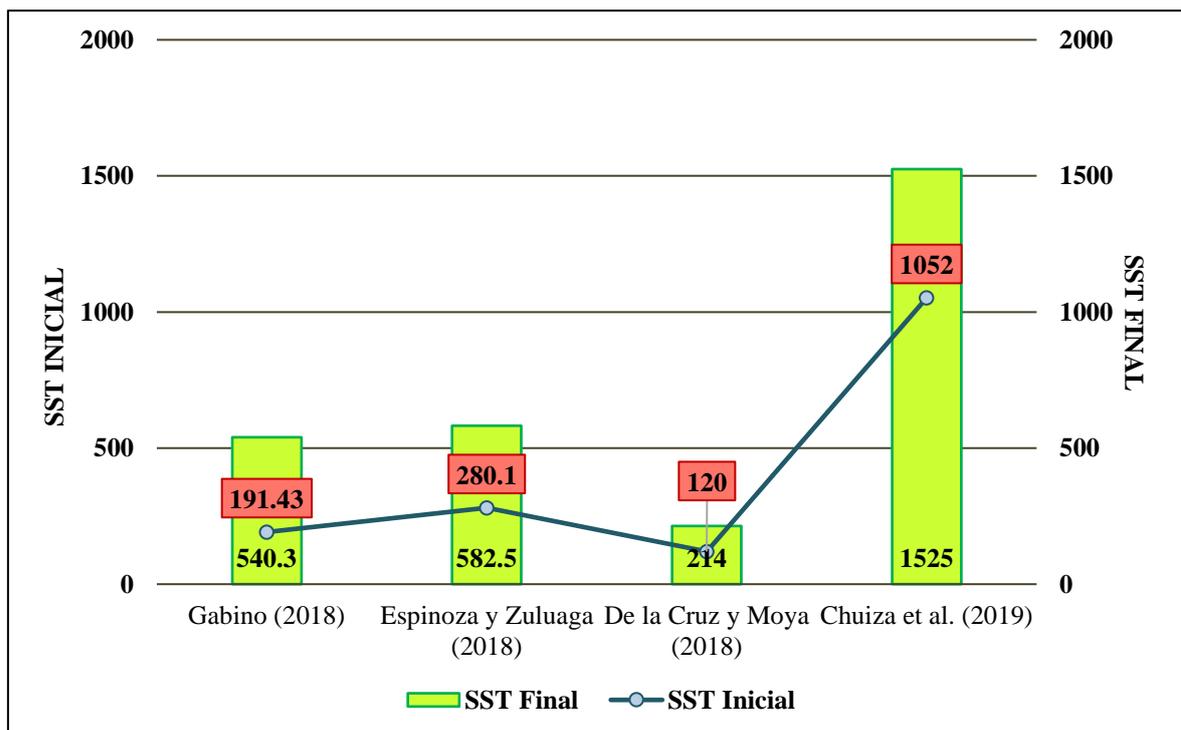
Tabla 14

Comparación de los SST inicial y final del tratamiento

Autor (es)	SST Inicial	SST Final
Gabino	540.3 mg/L	191.43 mg/L
Espinoza y Zuluaga	582.5 mg/L	280.1 mg/L
De la Cruz y Moya	214 mg/L	120 mg/L
Chuiza et al.	1 525 mg/L	1 052 mg/L

Figura 11

*Comparación de SST antes y después del tratamiento con *Opuntia ficus-indica**



Nota: La figura 11 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 14, en la cual se observa cómo ha ido disminuyendo los SST con la aplicación del coagulante *Opuntia ficus-indica*, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes investigaciones recopiladas. Se determina que, el estudio de Chuiza et al. (2019) es el más eficiente, presentando una concentración inicial de 1 525 mg/L y disminuyendo hasta

1 052 mg/L; mientras que, el estudio De la Cruz y Moya (2018), disminuye los SST en menor cantidad, siendo su valor inicial 214 mg/L y disminuyendo solo a 120 mg/L.

3.2.2. Influencia del tratamiento con *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales industriales

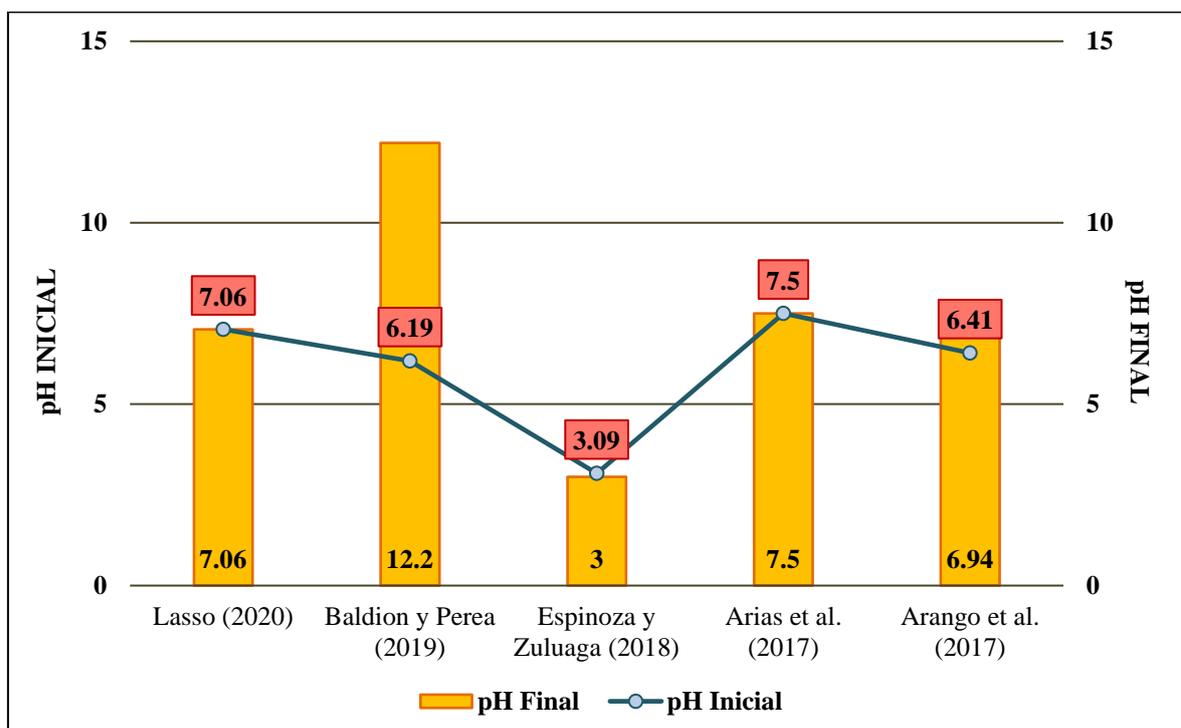
Tabla 15

Comparación del pH inicial y final del tratamiento

Autor (es)	pH Inicial	pH Final
Lasso	7.06	7.06
Baldion y Perea	12.2	6.19
Espinoza y Zuluaga	3	3.09
Arias et al.	7.5	7.5
Arango et al.	6.94	6.41

Figura 12

*Comparación del pH antes y después del tratamiento con *Moringa oleífera**



Nota: La figura 12 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 15, en la cual se observa cómo ha sido la variación del pH con la aplicación del coagulante *Moringa oleífera*, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes investigaciones recopiladas. Se determina que, en los estudios de Lasso (2020) y Arias et al. (2017), el pH no presenta ninguna variación e indica que sus aguas son alcalinas. Sin embargo, en el estudio de Baldion y Perea (2019), el pH inicial es de 12.2 y disminuye a 6.19, lo que significa que sus aguas son ácidas, ocurriendo lo mismo en los estudios de Espinoza y Zuluaga (2018) y Arango et al. (2017).

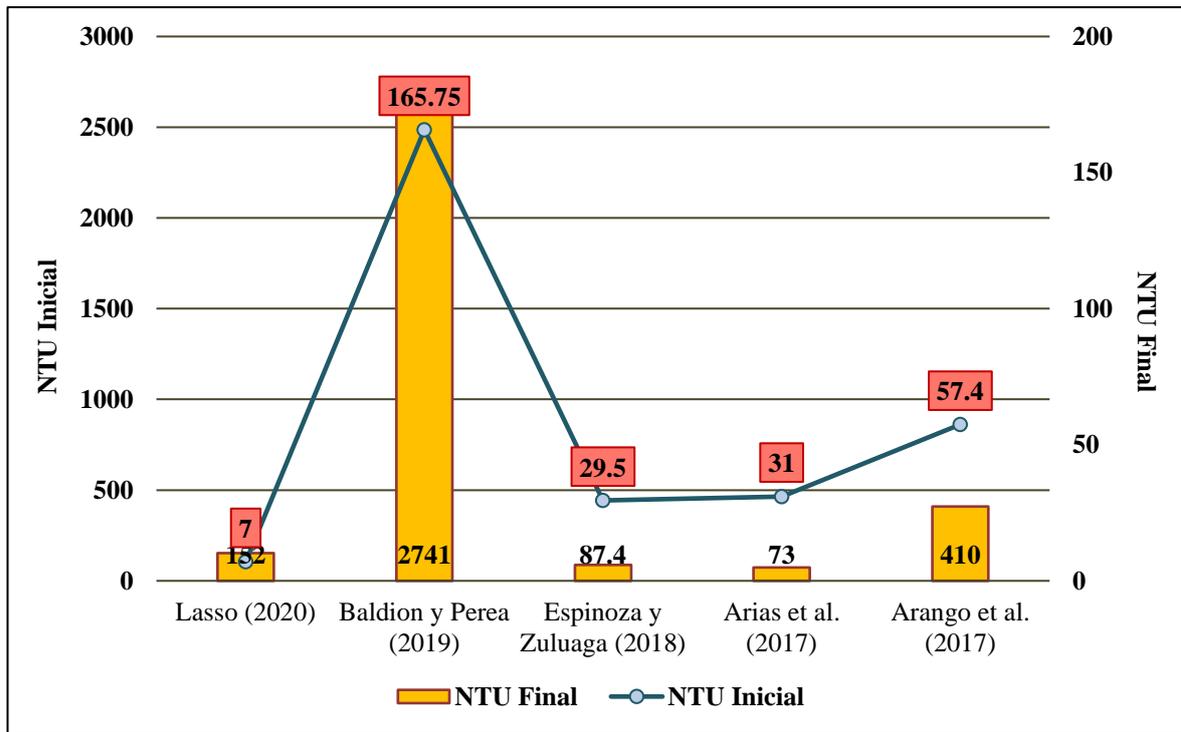
Tabla 16

Comparación de turbiedad inicial y final del tratamiento

Autor (es)	Turbiedad Inicial	Turbiedad Final
Lasso	152 mg/L	7 mg/L
Baldion y Perea	2 741 mg/L	167.75 mg/L
Espinoza y Zuluaga	87.4 mg/L	29.5 mg/L
Arias et al.	73 mg/L	31 mg/L
Arango et al.	410 mg/L	57.4 mg/L

Figura 13

Comparación de turbiedad antes y después del tratamiento con Moringa oleífera



Nota: La figura 13 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 16, en la cual se observa cómo ha ido disminuyendo la turbiedad con la aplicación del coagulante *Moringa oleífera*, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes investigaciones recopiladas. Se determina que, el estudio de Baldion y Perea (2019) es el más eficiente, presentando una turbiedad inicial 2 741 NTU y disminuyendo hasta 165.75 NTU; mientras que, el estudio de Arias et al. (2017), disminuye la turbiedad en menor cantidad, siendo su valor inicial 73 NTU y disminuyendo solo a 31 NTU.

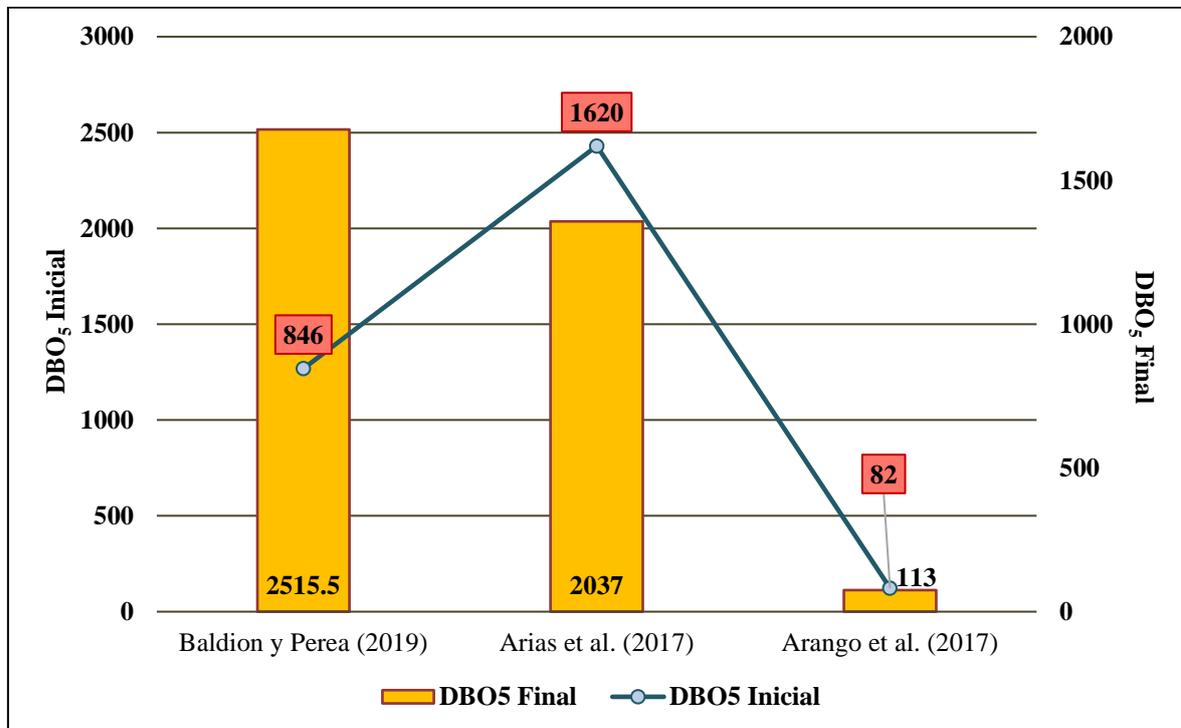
Tabla 17

Comparación del DBO₅ inicial y final del tratamiento

Autor (es)	DBO ₅ Inicial	DBO ₅ Final
Baldion y Perea	2 515.5 mg/L	846 mg/L
Arias et al.	2 037 mg/L	1 620 mg/L
Arango et al.	113 mg/L	82 mg/L

Figura 14

*Comparación del DBO₅ antes y después del tratamiento con *Moringa oleífera**



Nota: La figura 14 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 17, en la cual se observa cómo ha ido disminuyendo el DBO₅ con la aplicación del coagulante *Moringa oleífera*, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes investigaciones recopiladas. Se determina que, el estudio de Baldion y Perea (2019) es el más eficiente, presentando una DBO₅ inicial de 2 515.5 mg/L y disminuyendo hasta

846 mg/L; mientras que, el estudio de Arango et al. (2017), disminuye la turbiedad en menor cantidad, siendo su valor inicial 113 mg/L y disminuyendo solo a 82 mg/L.

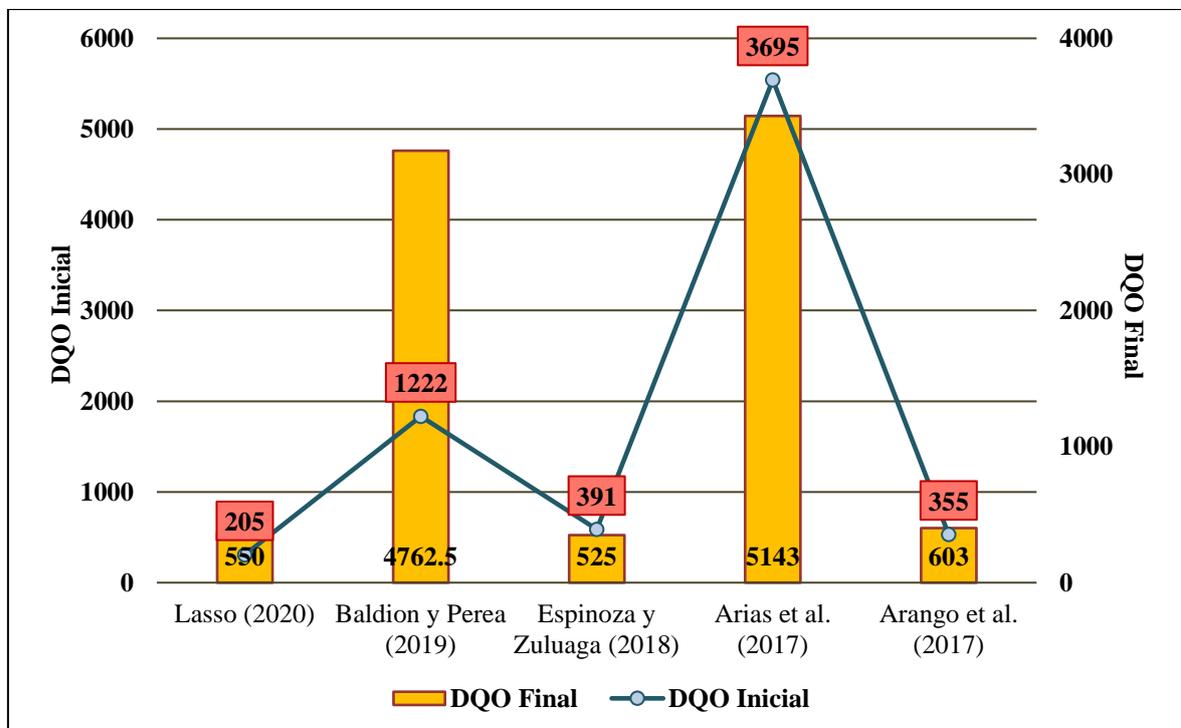
Tabla 18

Comparación del DQO inicial y final del tratamiento

Autor (es)	DQO Inicial	DQO Final
Lasso	550 mg/L	205 mg/L
Baldion y Perea	4 762.5 mg/L	1 222 mg/L
Espinoza y Zuluaga	525 mg/L	391 mg/L
Arias et al.	5 143 mg/L	3 695 mg/L
Arango et al.	603 mg/L	355 mg/L

Figura 15

Comparación del DQO antes y después del tratamiento con Moringa oleífera



Nota: La figura 15 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 18, en la cual se observa cómo ha ido disminuyendo el DQO con la aplicación del coagulante *Moringa*

oleífera, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes investigaciones recopiladas. Se determina que, el estudio de Baldion y Perea (2019) es el más eficiente, presentando una DQO inicial de 4 762.5 mg/L y disminuyendo hasta 1 222 mg/L; mientras que, el estudio de Arango et al. (2017), disminuye la turbidez en menor cantidad, siendo su valor inicial 603 mg/L y disminuyendo solo a 355 mg/L.

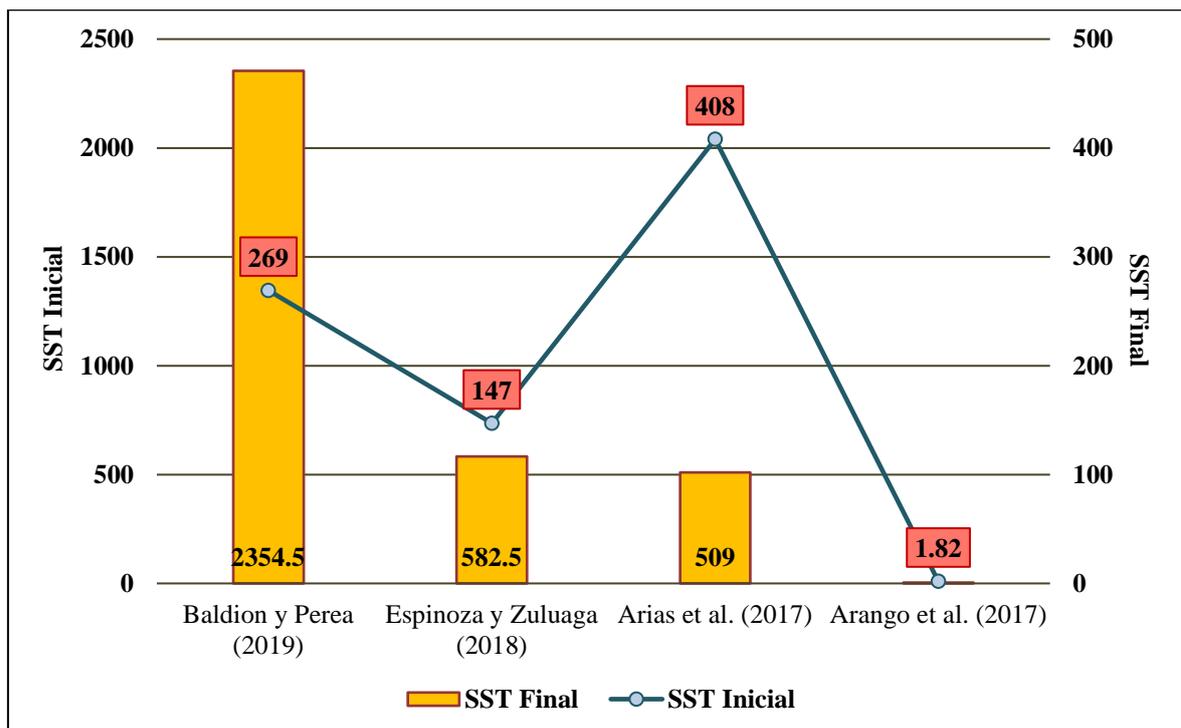
Tabla 19

Comparación del SST inicial y final del tratamiento

Autor (es)	SST Inicial	SST Final
Baldion y Perea	2 354.5 mg/L	269 mg/L
Espinoza y Zuluaga	582.5 mg/L	147 mg/L
Arias et al.	509 mg/L	408 mg/L
Arango et al.	3.45 mg/L	1.82 mg/L

Figura 16

Comparación del SST antes y después del tratamiento con Moringa oleífera



Nota: La figura 16 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 19, en la cual se observa cómo ha ido disminuyendo los SST con la aplicación del coagulante *Moringa oleifera*, en el tratamiento de aguas residuales industriales de las diferentes investigaciones recopiladas. Se determina que, el estudio de Baldion y Perea (2019) es el más eficiente, presentando los SST con una concentración inicial de 2 354.5 mg/L y disminuyendo hasta 269 mg/L; mientras que, el estudio de Arias et al. (2017), disminuye los SST en menor cantidad, siendo su valor inicial 509 mg/L y disminuyendo solo a 408 mg/L.

3.2. Resultados de la capacidad de remediación de los mucílago, considerando el tiempo de contacto y porcentaje de remoción

Tabla 20

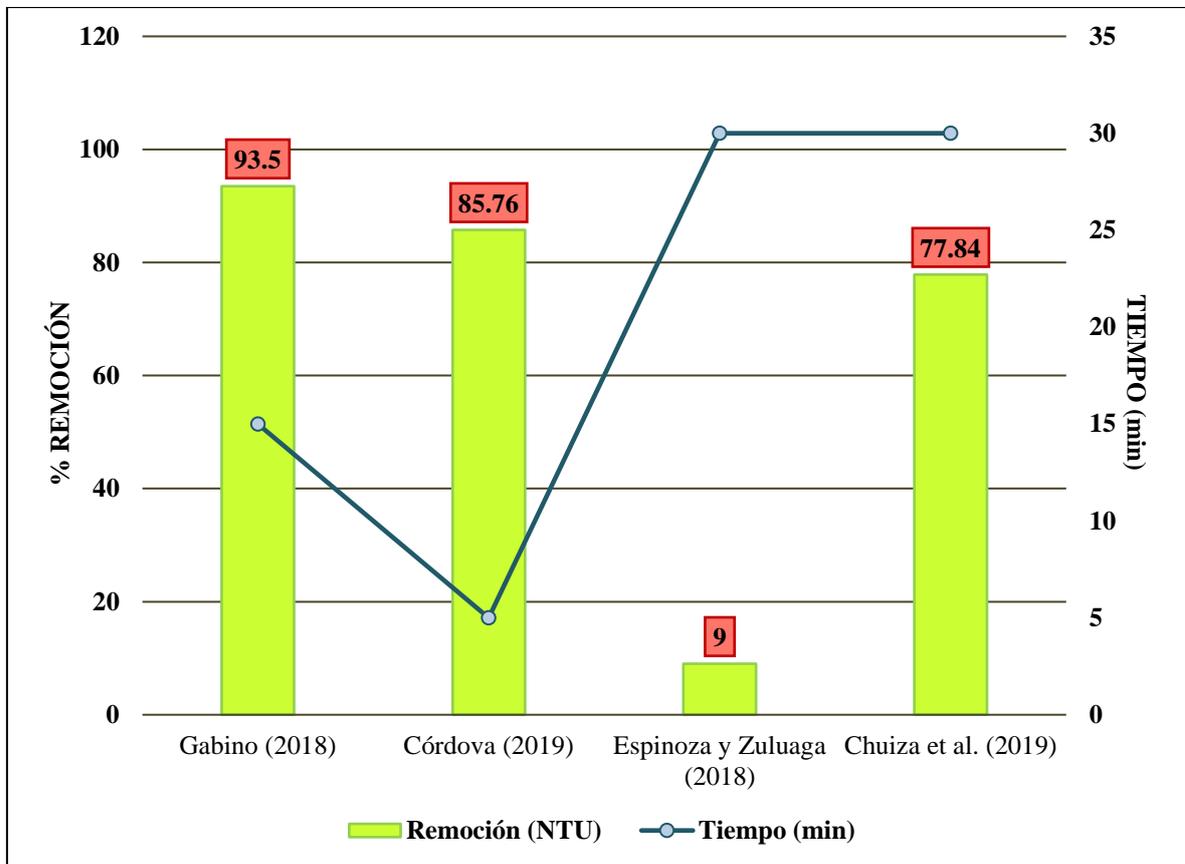
Capacidad de remediación de los parámetros fisicoquímicos en investigaciones con Opuntia ficus-indica y Moringa oleífera, considerando tiempo de contacto y porcentaje de remoción

Especie de mucílago	Autor (es)	Tiempo contacto	% Remoción Turbiedad	% Remoción DBO ₅	% Remoción DQO	% Remoción SST
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Gabino	15 minutos	93.5	29.6	27.7	64.6
	Córdova	5 minutos	85.76	53.12	35.24	-
	Espinoza y Zuluaga	30 minutos	9	-	27.4	51.9
	De la Cruz y Moya	60 minutos	-	49.32	-	43.93
	Chuiza et al.	30 minutos	77.84	13.9	26.8	31
<i>Moringa oleífera</i>	Lasso	30 minutos	95.4	-	62.73	-
	Baldion y Perea	20 minutos	93.9	66.4	74.3	96.2
	Espinoza y Zuluaga	30 minutos	66.2	-	25.5	74.8
	Medina et al.	20 minutos	57.5	20.5	28.2	19.8
	Arango et al.	15 minutos	86	27.43	41.13	47.25

Nota: La tabla 20 demuestra los datos analizados en las diversas investigaciones, considerado el tiempo de contacto y porcentaje de remoción de turbiedad, DBO₅, DQO y SST con la aplicación *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales industriales.

Figura 17

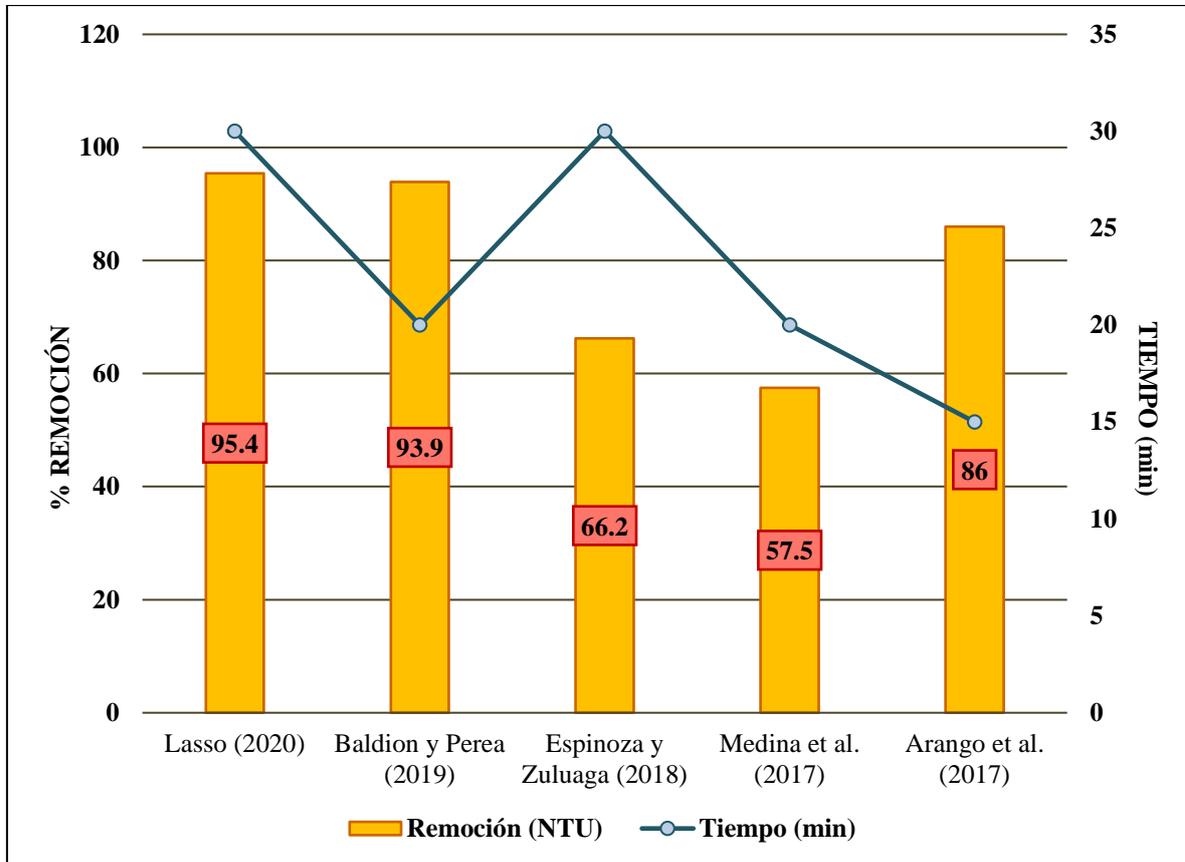
*Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de turbiedad en el tratamiento de aguas residuales industriales con *Opuntia ficus-indica**



Nota: La figura 17 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 20, donde se analiza el comportamiento de la remoción de turbiedad con relación al tiempo de contacto, en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos, de las diferentes investigaciones recopiladas. Se puede observar que, en el estudio de Gabino (2018) el coagulante *Opuntia ficus-indica* remueve 93.5% en 15 minutos; mientras que, en el estudio de Espinoza y Zuluaga (2018), *Opuntia ficus-indica* solo remueve un 9% con un tiempo de contacto mayor, siendo 30 minutos. En este caso, se puede deducir que el tiempo de contacto más eficiente para obtener una remoción total de turbiedad es a los 15 minutos de operación.

Figura 18

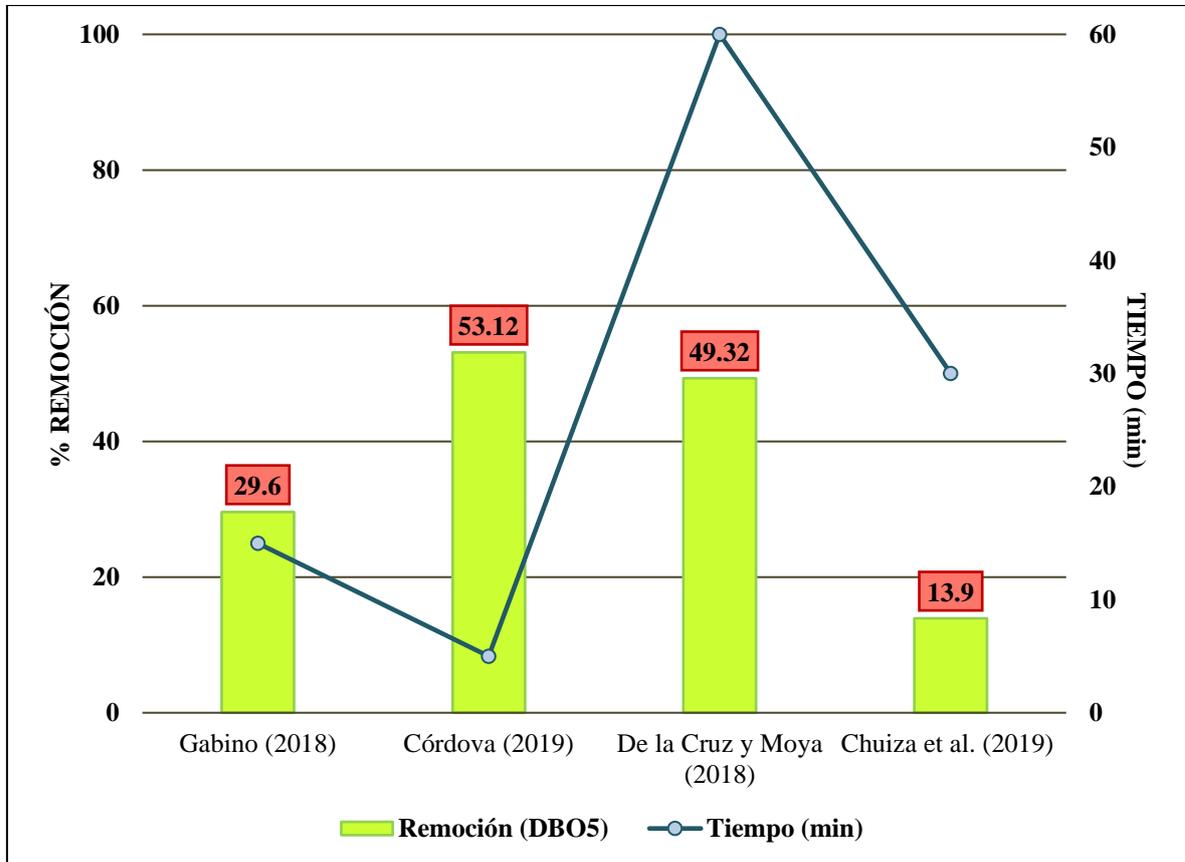
Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de turbiedad en el tratamiento de aguas residuales industriales con Moringa oleífera



Nota: La figura 18 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 19, donde se analiza el comportamiento de la remoción de turbiedad con relación al tiempo de contacto, en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos, de las diferentes investigaciones recopiladas. Se puede observar que, en el estudio de Lasso (2020) el coagulante *Moringa oleífera* remueve 98.4% en 30 minutos; mientras que, en el estudio en el estudio de Medina et al. (2017), *Moringa oleífera* solo remueve un 57.5% con un tiempo de contacto menor, siendo 20 minutos. En este caso, se puede deducir que el tiempo de contacto más eficiente para obtener una remoción total de turbiedad es a los 30 minutos de operación.

Figura 19

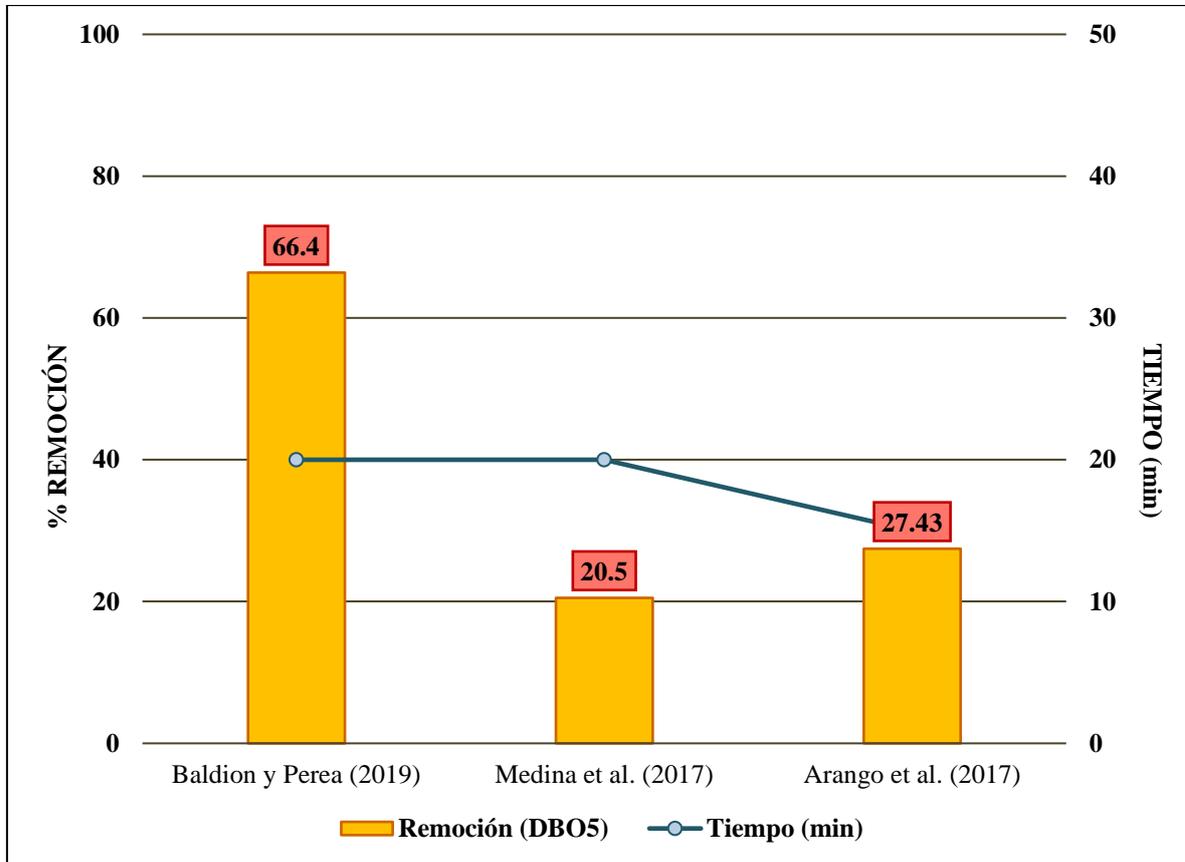
*Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de DBO₅ en el tratamiento de aguas residuales industriales con *Opuntia ficus-indica**



Nota: La figura 19 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 19, donde se analiza el comportamiento de la remoción de DBO₅ con relación al tiempo de contacto, en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos, de las diferentes investigaciones recopiladas. Se puede observar que, en el estudio de Córdova (2019) el coagulante *Opuntia ficus-indica* remueve 53.12% en 5 minutos; mientras que, en el estudio de Chuiza et al. (2019), *Opuntia ficus-indica* solo remueve un 13.9% con un tiempo de contacto mayor, siendo 30 minutos. En este caso, se puede deducir que el tiempo de contacto más eficiente para obtener una remoción total de DBO₅ es a los 5 minutos de operación.

Figura 20

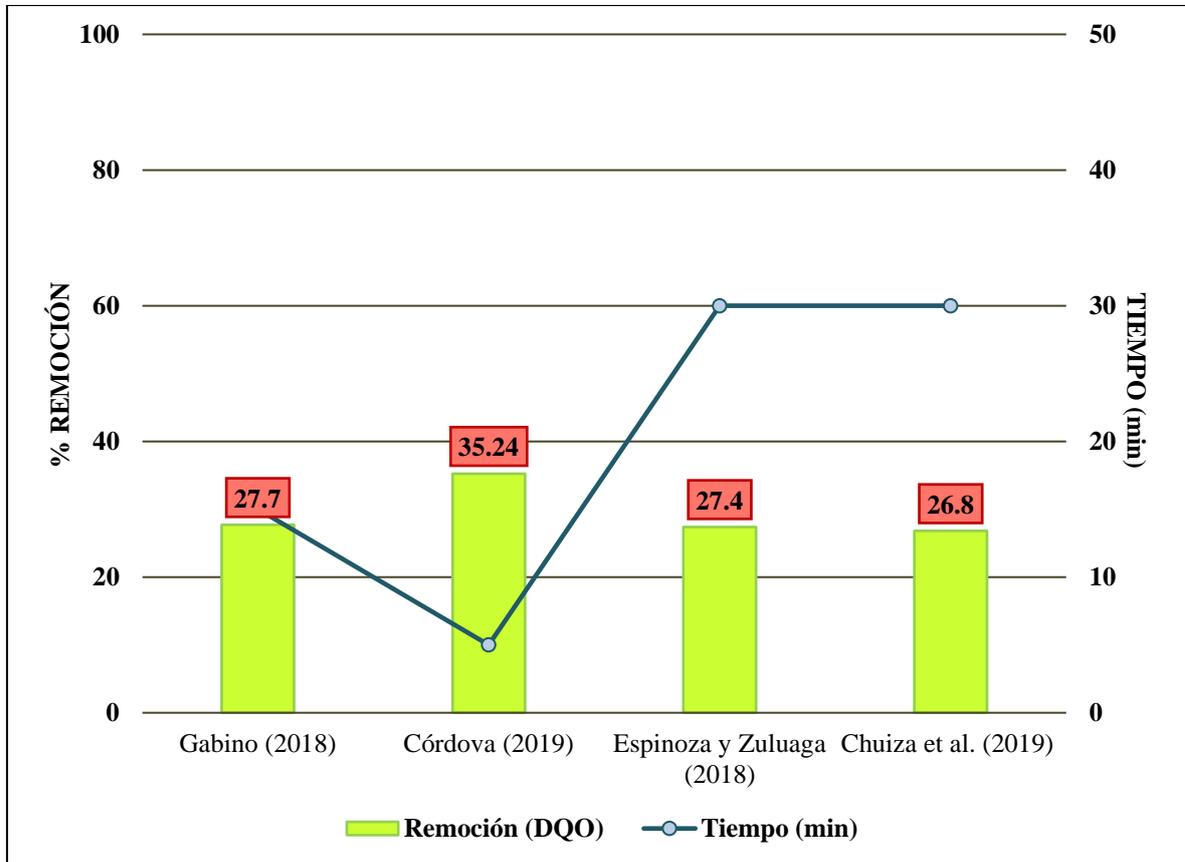
Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de DBO₅ en el tratamiento de aguas residuales industriales con Moringa oleífera



Nota: La figura 20 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 19, donde se analiza el comportamiento de la remoción de DBO₅ con relación al tiempo de contacto, en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos, de las diferentes investigaciones recopiladas. Se puede observar que, en el estudio de Baldion y Perea (2019) el coagulante *Moringa oleífera* remueve 66.4% en 20 minutos; mientras que, en el estudio en el estudio de Arango et al. (2017), *Moringa oleífera* solo remueve un 27.43% con un tiempo de contacto menor, siendo 15 minutos. En este caso, se puede deducir que el tiempo de contacto más eficiente para obtener una remoción total de DBO₅ es a los 20 minutos de operación.

Figura 21

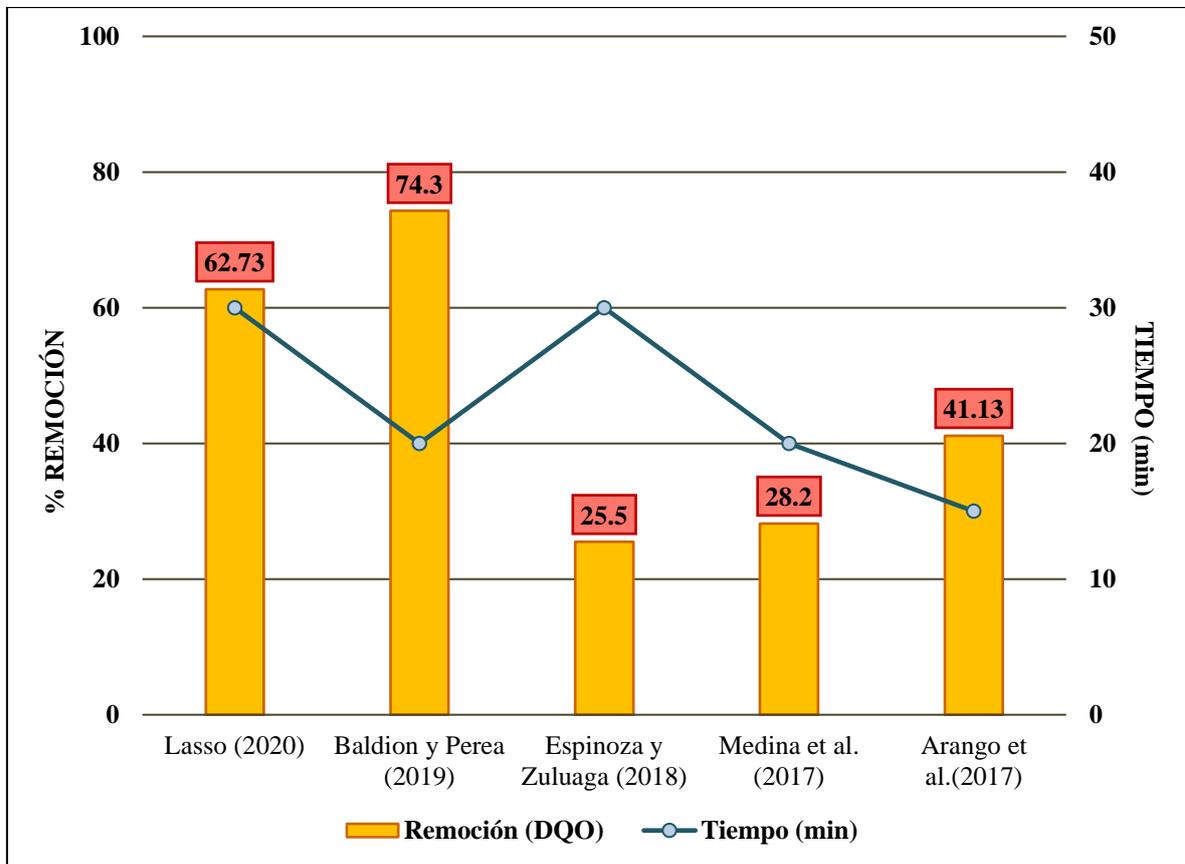
*Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de DQO en el tratamiento de aguas residuales industriales con *Opuntia ficus-indica**



Nota: La figura 21 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 19, donde se analiza el comportamiento de la remoción de DQO con relación al tiempo de contacto, en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos, de las diferentes investigaciones recopiladas. Se puede observar que, en el estudio de Córdova (2019) el coagulante *Opuntia ficus-indica* remueve 35.24% en 5 minutos; mientras que, en el estudio de Chuiza et al. (2019), *Opuntia ficus-indica* solo remueve un 26.8% con un tiempo de contacto mayor, siendo 30 minutos. En este caso, se puede deducir que el tiempo de contacto más eficiente para obtener una remoción total de DQO es a los 5 minutos de operación.

Figura 22

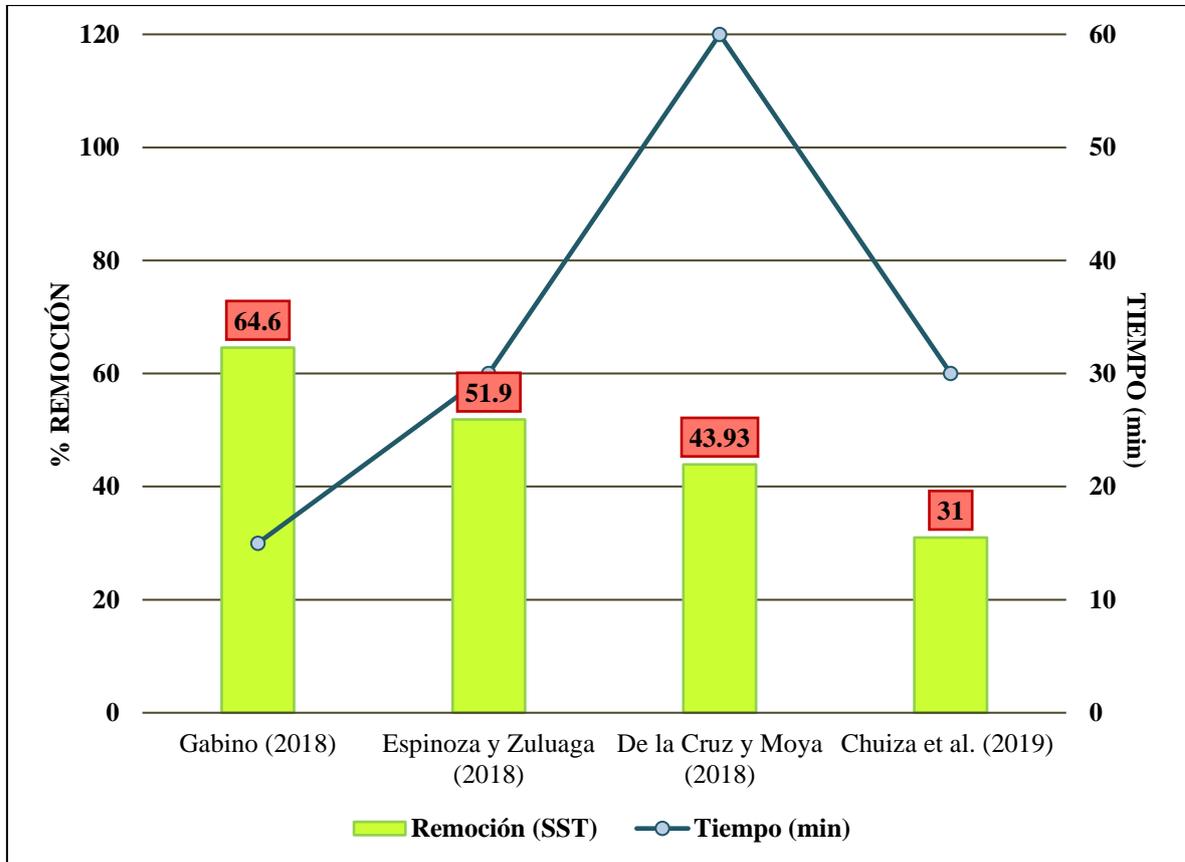
Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de DQO en el tratamiento de aguas residuales industriales con Moringa oleífera



Nota: La figura 22 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 19, donde se analiza el comportamiento de la remoción de DQO con relación al tiempo de contacto, en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos, de las diferentes investigaciones recopiladas. Se puede observar que, en el estudio de Baldion y Perea (2019) el coagulante *Moringa oleífera* remueve 74.3% en 20 minutos; mientras que, en el estudio en el estudio de Espinoza y Zuluaga (2018), *Moringa oleífera* solo remueve un 25.5% con un tiempo de contacto mayor, siendo 30 minutos. En este caso, se puede deducir que el tiempo de contacto más eficiente para obtener una remoción total de DQO es a los 20 minutos de operación.

Figura 23

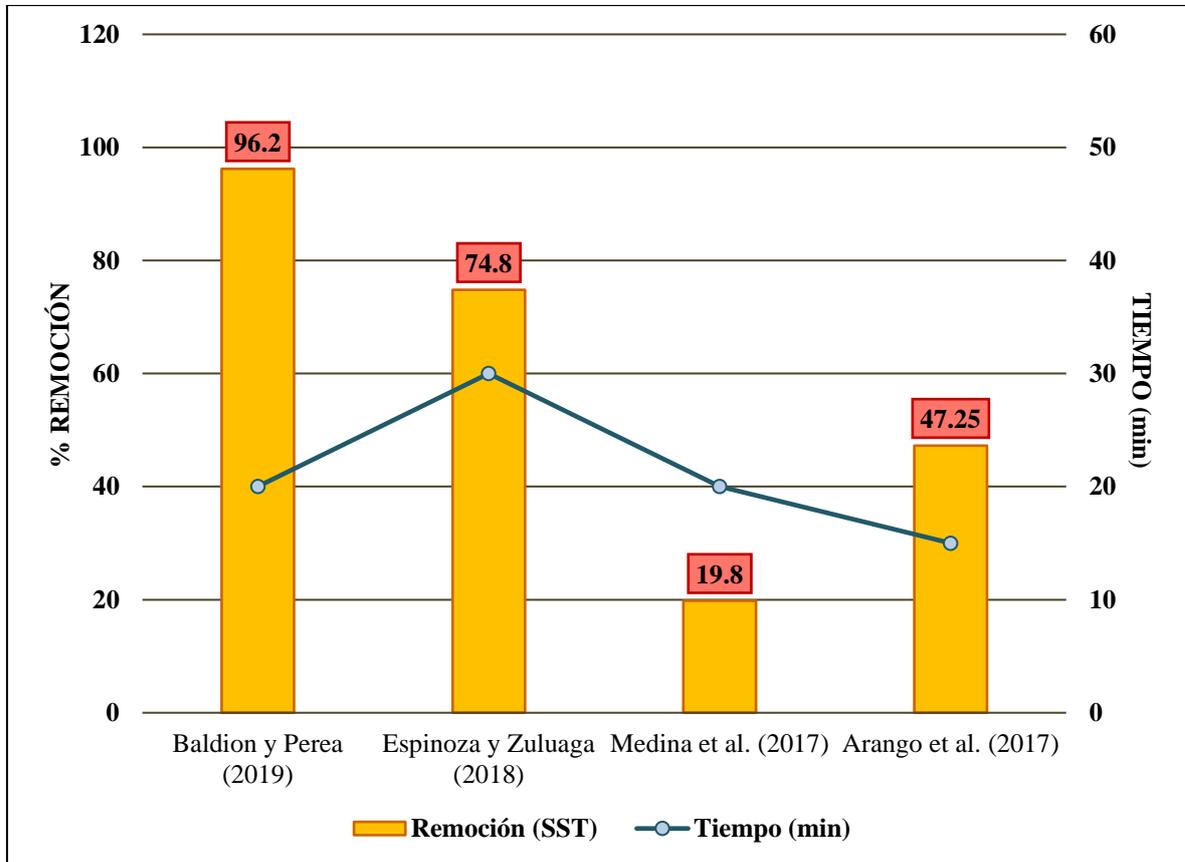
*Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de SST en el tratamiento de aguas residuales industriales con *Opuntia ficus-indica**



Nota: La figura 23 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 19, donde se analiza el comportamiento de la remoción de SST con relación al tiempo de contacto, en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos, de las diferentes investigaciones recopiladas. Se puede observar que, en el estudio de Gabino (2018) el coagulante *Opuntia ficus-indica* remueve 64.6% en 15 minutos; mientras que, en el estudio de Chuiza et al. (2019), *Opuntia ficus-indica* solo remueve un 31% con un tiempo de contacto mayor, siendo 30 minutos. En este caso, se puede deducir que el tiempo de contacto más eficiente para obtener una remoción total de SST es a los 15 minutos de operación.

Figura 24

Tiempo de contacto y porcentaje de remoción de SST en el tratamiento de aguas residuales industriales con Moringa oleífera



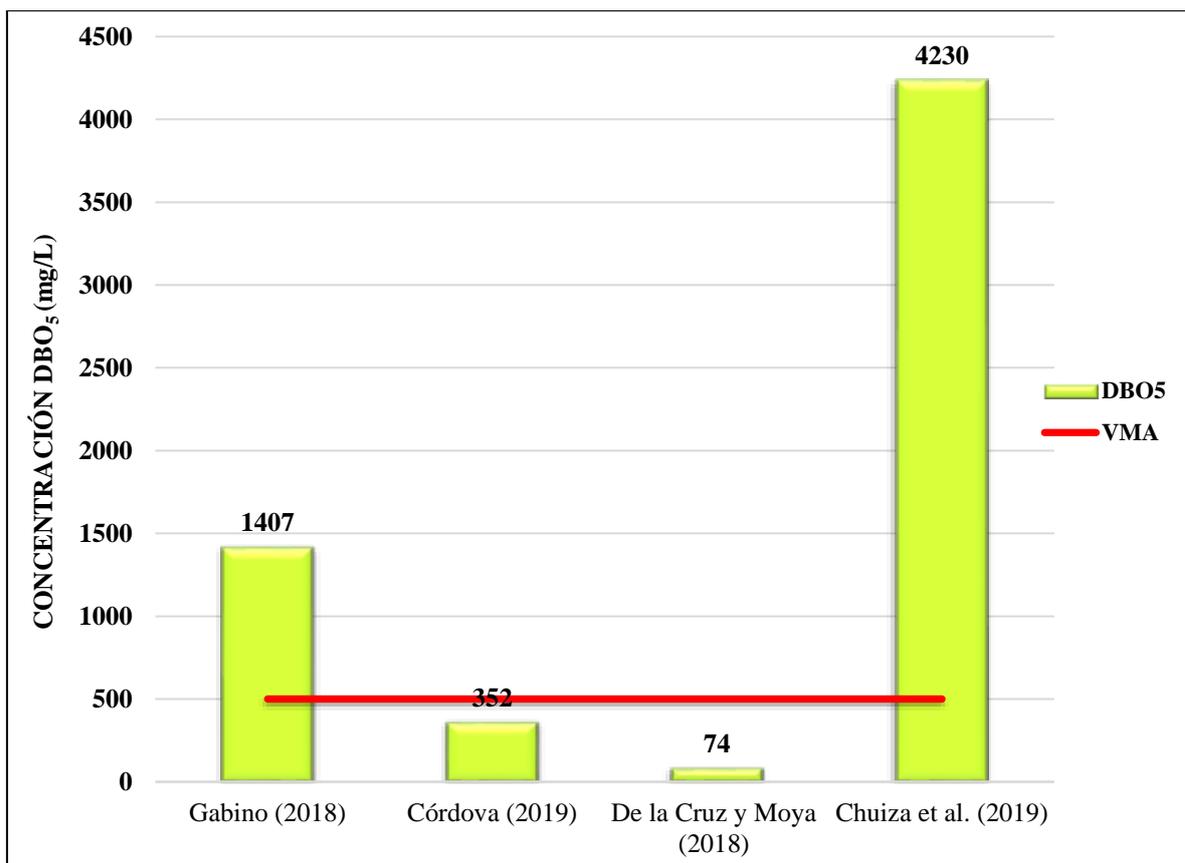
Nota: La figura 24 es la representación gráfica de los datos reportados en la tabla 19, donde se analiza el comportamiento de la remoción de SST con relación al tiempo de contacto, en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos, de las diferentes investigaciones recopiladas. Se puede observar que, en el estudio de Baldion y Perea (2019) el coagulante *Moringa oleífera* remueve 96.2% en 20 minutos; mientras que, en el estudio en el estudio de Arango et al. (2017), *Moringa oleífera* solo remueve un 47.25% con un tiempo de contacto menor, siendo 15 minutos. En este caso, se puede deducir que el tiempo de contacto más eficiente para obtener una remoción total de DBO₅ es a los 20 minutos de operación.

3.3. Resultados de la remoción de los mucílago en los parámetros fisicoquímicos bajo la normativa del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA.

Se realizó el análisis de los resultados en las diversas investigaciones, posterior a la aplicación de los mucílago para comprobar la concentración de los parámetros fisicoquímicos presentes en las aguas residuales industriales y comparar si cumple con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, como se muestra a continuación.

Figura 25

Comparación de las concentraciones de DBO₅ con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de Opuntia ficus-indica

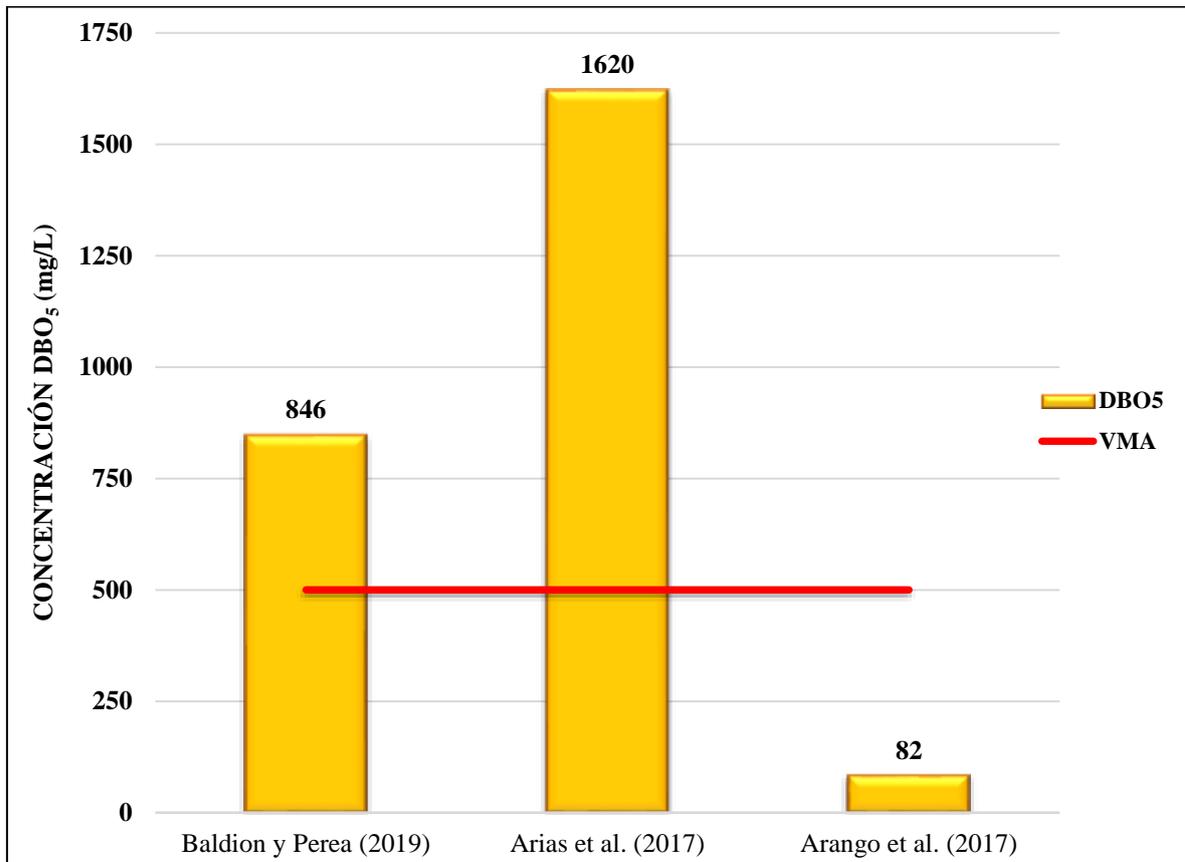


Nota: La figura 25 hace referencia a la efectividad de la aplicación de los diferentes mucílago para DBO₅, en la cual se muestra que los mucílago con mayor eficiencia de remoción corresponde a los estudios de Córdova (2019), De la Cruz y Moya (2019) con la

especie *Opuntia ficus-indica* con una efectividad de 53.12% y 49.32% con una concentración de 352 mg/L y 74 mg/L respectivamente, lo que comparado con los VMA cumplen con la norma del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, lo cual indica que el parámetro de DBO₅ debe mantener un valor por debajo del límite permitido (500 mg/L).

Figura 26

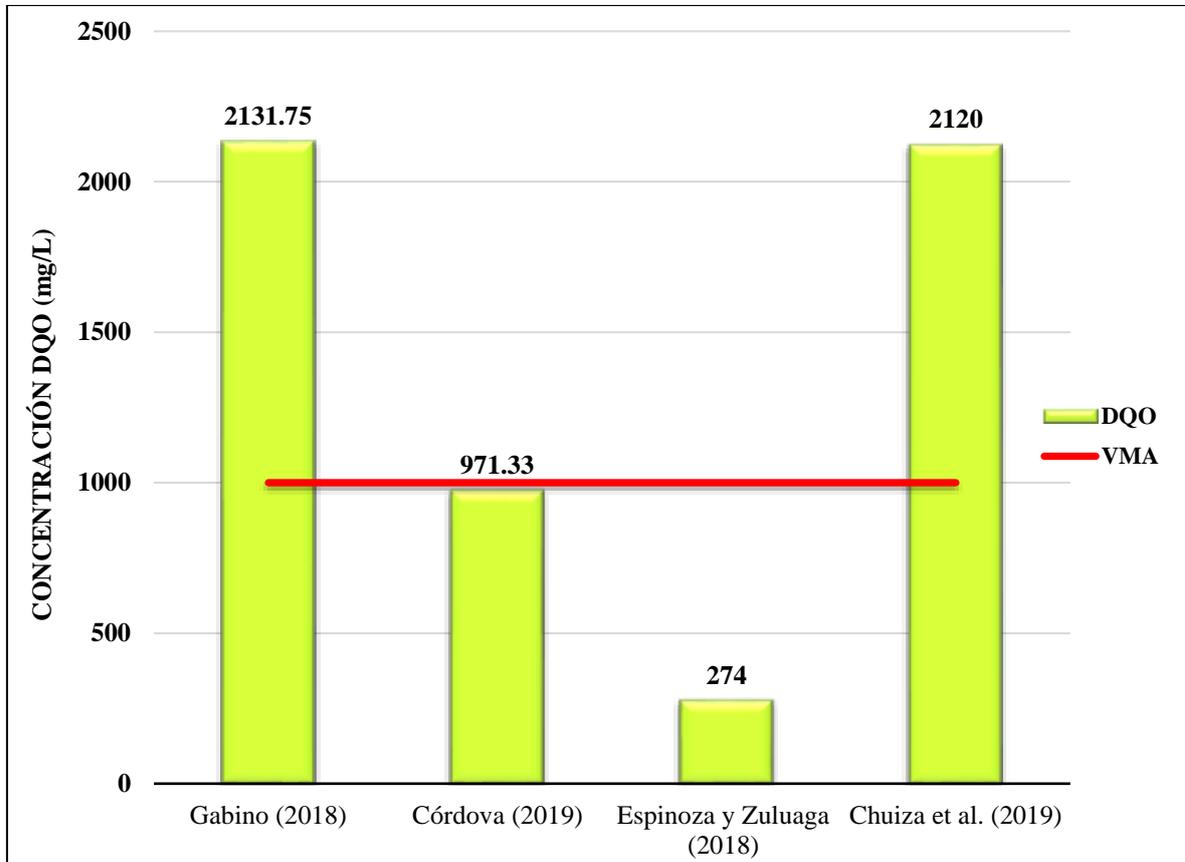
Comparación de las concentraciones de DBO₅ con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de *Moringa oleífera*



Nota: La figura 26 hace referencia a la efectividad de la aplicación de los diferentes mucílagos para DBO₅, en la cual se muestra que los mucílagos con mayor eficiencia de remoción corresponde al estudio de Arango et al. (2017) con la especie *Moringa oleífera* con una efectividad de 86% y una concentración de 82 mg/L, lo que comparado con los VMA cumplen con la norma del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, lo cual indica que el parámetro de DBO₅ debe mantener un valor por debajo del límite permitido (500 mg/L).

Figura 27

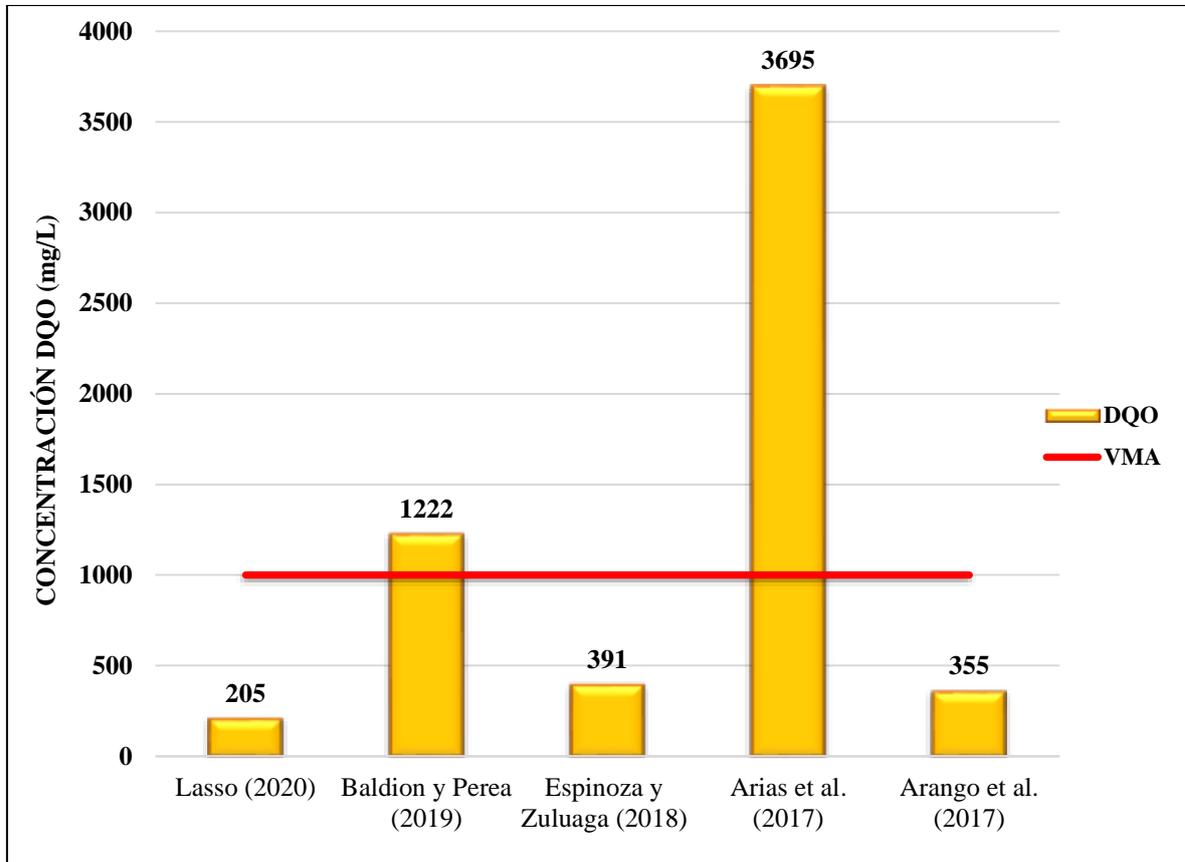
*Comparación de las concentraciones de DQO con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de *Opuntia ficus-indica**



Nota: La figura 27 hace referencia a la efectividad de la aplicación de los diferentes mucílago para DQO, en la cual se muestra que los mucílago con mayor eficiencia de remoción corresponde a los estudios de Córdova (2019), Espinoza y Zuluaga (2018) con la especie *Opuntia ficus-indica* con una efectividad de 35.24% y 27.4% con una concentración de 971.33 mg/L y 274 mg/L respectivamente, lo que comparado con los VMA cumplen con la norma del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, lo cual indica que el parámetro de DQO debe mantener un valor por debajo del límite permitido (1000 mg/L).

Figura 28

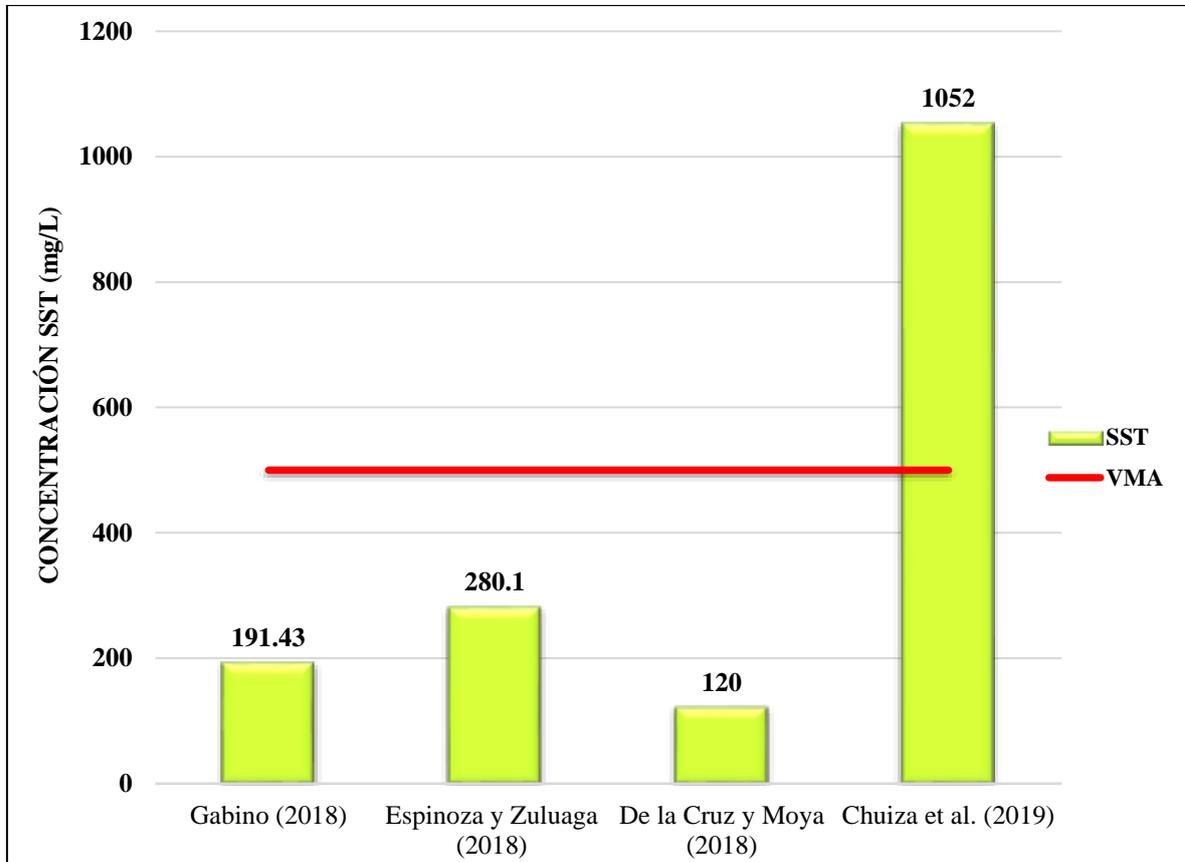
*Comparación de las concentraciones de DQO con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de *Moringa oleífera**



Nota: La figura 28 hace referencia a la efectividad de la aplicación de los diferentes mucílagos para DQO, en la cual se muestra que los mucílagos con mayor eficiencia de remoción corresponde a los estudios de Lasso (2020), Espinoza y Zuluaga (2018) y Arango et al. (2017) con la especie *Moringa oleífera* con una efectividad de 62.73%, 25.5% y 41.13% con una concentración de 205 mg/L, 391 mg/L y 355 mg/L respectivamente, lo que comparado con los VMA cumplen con la norma del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, lo cual indica que el parámetro de DQO debe mantener un valor por debajo del límite permitido (1 000 mg/L).

Figura 29

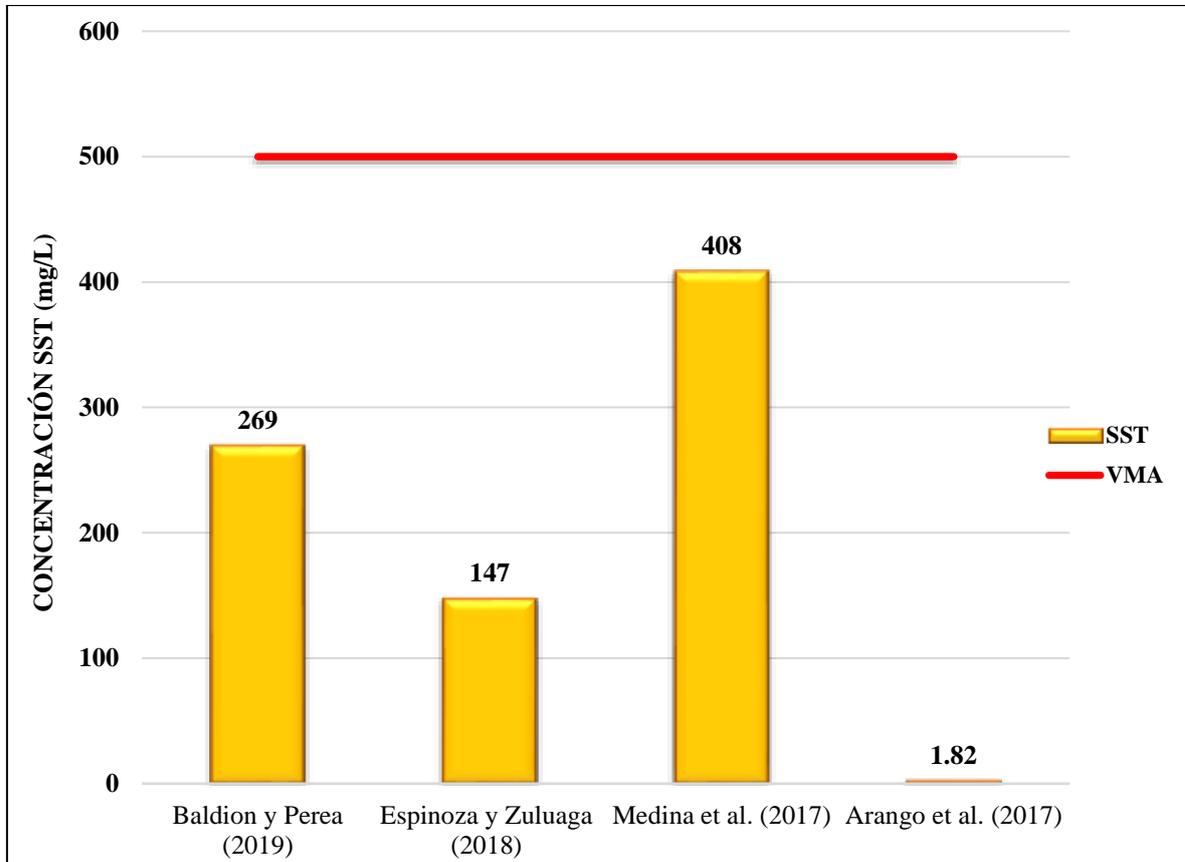
*Comparación de las concentraciones de SST con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de *Opuntia ficus-indica**



Nota: La figura 29 hace referencia a la efectividad de la aplicación de los diferentes mucílago para SST, en la cual se muestra que los mucílago con mayor eficiencia de remoción corresponde a los estudios de Gabino (2018), Espinoza y Zuluaga (2018), De la Cruz y Moya (2018) con la especie *Opuntia ficus-indica* con una efectividad 64.6%, 51.9% y 43.93% con una concentración de 191.43 mg/L, 280.1 mg/L y 120 mg/L respectivamente, lo que comparado con los VMA cumplen con la norma del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, lo cual indica que el parámetro de SST debe mantener un valor por debajo del límite permitido (500 mg/L).

Figura 30

*Comparación de las concentraciones de SST con los VMA de las aguas residuales industriales con la aplicación de *Moringa oleífera**



Nota: La figura 30 hace referencia a la efectividad de la aplicación de los diferentes mucílagos para SST, en la cual se muestra que los mucílagos con mayor eficiencia de remoción corresponden a los estudios de Baldion y Perea (2019), Espinoza y Zuluaga (2018), Arias et al. (2017) y Arango et al. (2017) con la especie *Moringa oleífera* con una efectividad 96.2%, 74.8%, 19.8% y 47.25% con una concentración de 269 mg/L, 147 mg/L, 408 mg/L y 1.82 mg/L respectivamente, lo que comparado con los VMA cumplen con la norma del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, lo cual indica que el parámetro de SST debe mantener un valor por debajo del límite permitido (500 mg/L).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

El estudio de los mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales demuestra la eficiencia de las especies *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera* al remover los parámetros de calidad de agua, tales como pH, turbidez, DBO₅, DQO y SST. Teniendo en consideración de que la presente investigación es de tipo no experimental, el estudio se centra en realizar una revisión documental en diferentes bases de datos, tales como: Redalyl, Scielo, Alicia Concytec y Repositorios institucionales, de los cuales se han incluido 9 estudios relacionados a los objetivos de este trabajo.

Los resultados de la concentración de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales con *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera*, se realizó comparando los valores iniciales y finales de ambas especies provenientes de las diferentes investigaciones. La mayor eficiencia de concentración respecto los valores iniciales de los parámetros con la especie *Opuntia ficus-indica* tuvo una reducción de 311 NTU a 20.35 NTU y 2 947.5 mg/L a 2 131.75 mg/L de DQO en el estudio de Gabino (2019); mientras que, en el estudio de Chuiza et al. (2019) se redujo de 4 915 mg/L a 4 230 mg/L de DBO₅ y 1 525 mg/L a 1 052 mg/L de SST.

Por otro lado, la mayor eficiencia de concentración respecto a los valores iniciales de los parámetros con la especie *Moringa oleífera* tuvo una reducción de 2 741 NTU a 167.75 NTU, 2 515.5 mg/L a 846 mg/L de DBO₅, 4 762.5 mg/L a 1 222 mg/L de DQO y 2 354.5 mg/L a 269 mg/L, en la investigación perteneciente a Baldion y Perea (2019).

Respecto a los resultados de la capacidad de remediación de turbiedad y SST del agua residual industrial con la aplicación de *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera* provenientes de diferentes investigaciones, se observa que, para la especie *Opuntia ficus-indica* los porcentajes más elevados fueron de 93.5% turbiedad y 64.6% SST, con un tiempo de contacto de 15 minutos en el estudio de Gabino (2018); sin embargo, si se deja actuar la especie por un tiempo de contacto mayor, no se obtienen resultados más eficientes y se demuestra en los estudios de Espinoza y Zuluaga (2018) y Chuiza et al. (2019), ya que en los trabajos mencionados se trabajó con un tiempo de contacto de 30 minutos y se observa un porcentaje de remoción de 9% turbidez y 31% de SST. Para *Moringa oleífera* el porcentaje de remediación más alto con 30 minutos de tiempo de contacto fue de 95.4% de turbidez en la investigación de Lasso (2020) y 74.8% de SST en la investigación realizada por Espinoza y Zuluaga (2018), ocurriendo lo contrario a la especie *Opuntia ficus-indica*, ya que si se deja actuar por un tiempo menor, no se obtienen resultados eficientes y se evidencia en el estudio de Medina et al. (2017), en el cual trabajó con un tiempo de contacto de 20 minutos y se obtuvo un porcentaje de 57.5% de turbidez y 19.8% de SST.

Por otro lado, los resultados de la capacidad de remediación de DBO₅ y DQO del agua residual industrial con la aplicación de *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera* provenientes de diferentes investigaciones, se demuestra que, respecto a la especie *Opuntia ficus-indica* los porcentajes de remoción más elevados fueron de 53.12% DBO₅ y 35.24% DQO, con un tiempo de contacto de 5 minutos en el estudio de Córdova (2019); sin embargo, si se deja actuar la especie por un tiempo de contacto mayor, no se obtienen eficientes resultados y se demuestra en el trabajo realizado por Chuiza et al. (2019), debido a el tiempo de contacto fue de 30 minutos y obtuvo porcentajes de remoción de 13.9% de DBO₅ y 26.8% de DQO. Para *Moringa oleífera*

el porcentaje de remediación más alto fue aplicando un tiempo de contacto de 20 minutos y se obtuvo 66.4% de DBO₅ y 74.3% de DQO en la investigación realizada por Baldión y Perea (2019), pero sucede lo contrario a la especie *Opuntia ficus-indica*, ya que si se deja actuar por un tiempo menor no se obtienen resultados eficientes y se evidencia en el estudio de Arango et al. (2017), en el cual empleó con un tiempo de contacto de 15 minutos y obtuvo porcentajes de 27.43% de DBO₅ y 41.13% de DQO.

Por último, en la comparación de remoción de los mucílago en los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, D.S. N° 010-2019-VIVIENDA se identificó que, la mayor eficiencia de remoción de DBO₅ corresponde a los estudios de Córdova (2019) y De la Cruz y Moya (2019) con la especie *Opuntia ficus-indica*, presentando una efectividad de 53.12% y 49.32% con una concentración de 352 mg/L y 74 mg/L respectivamente; mientras que, la especie *Moringa oleífera*, presenta una mayor eficiencia de remoción de DBO₅ en el estudio de Arango et al. (2017) con una efectividad de 86% y una concentración de 82 mg/L, siendo 500 mg/L el valor de DBO₅ permitido por los VMA. A su vez, la mayor eficiencia de remoción de DQO corresponde a los estudios de Córdova (2019) y Espinoza y Zuluaga (2018) con la especie *Opuntia ficus-indica* con una efectividad de 35.24% y 27.4% con una concentración de 971.33 mg/L y 274 mg/L respectivamente; mientras que, la especie *Moringa oleífera*, presenta una mayor eficiencia de remoción de DQO en los estudios de Lasso (2020), Espinoza y Zuluaga (2018) y Arango et al. (2017) con una efectividad de 62.73%, 25.5% y 41.13% y una concentración de 205 mg/L, 391 mg/L y 355 mg/L respectivamente, siendo 1 000 mg/L el valor de DQO permitido por los VMA.

Respecto a la remoción de SST los resultados más eficientes corresponde a los estudios de Gabino (2018), Espinoza y Zuluaga (2018), De la Cruz y Moya (2018) con la especie *Opuntia ficus-indica* con una efectividad 64.6%, 51.9% y 43.93% con una concentración de 191.43 mg/L, 280.1 mg/L y 120 mg/L respectivamente; mientras que, la especie *Moringa oleífera* presenta mejor efectividad en los estudios de de Baldion y Perea (2019), Espinoza y Zuluaga (2018), Arias et al. (2017) y Arango et al. (2017) con porcentajes de 96.2%, 74.8%, 19.8% y 47.25% con una concentración de 269 mg/L, 147 mg/L, 408 mg/L y 1.82 mg/L respectivamente, siendo 500 mg/L el valor de SST permitido por los VMA.

Se concluye, que las especies *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera* funcionan como alternativa a los coagulantes tradicionales, resultando ser un método sostenible y de gran interés para el tratamiento de aguas residuales no solamente de las industrias, sino de diferente naturaleza y condiciones, siendo una alternativa eficiente dentro de los tratamientos de agua residual.

Limitaciones

En el transcurso del desarrollo de la presente investigación, se encontraron ciertas limitaciones, siendo la primera de ellas, la escasez de estudios respecto al tema en mención, a pesar de ser un tema novedoso, pero poco aplicado en el sector industrial. Otras de las limitaciones encontradas fue el acceso a los documentos y páginas web que requerían de una confirmación previa para la lectura completa de sus archivos, además se encontró información semejante a nuestro objetivo, pero escritos en un idioma diferente al español.

Por último, una de la limitación más relevante fue la ausencia de ciertos datos dentro de las investigaciones como; por ejemplo, en el análisis de las aguas residuales, los

autores solo consideran algunos parámetros fisicoquímicos, debilitando así el cumplimiento de los objetivos del estudio por la falta de homogeneidad.

Implicancias

Durante el proceso de búsqueda y análisis de información, se puede hallar diversos impactos, ya sean positivos o negativos. Los impactos positivos dentro de las investigaciones son trascendentales, debido que traen consigo ventajas para los autores de los estudios y para aquellas personas que estén interesadas por desarrollar algún tema en común; mientras que, los impactos negativos, jugarán un papel importante y servirán para mejorar la investigación. Las principales implicancias del presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

El estudio respecto a la aplicación de mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales, sirve como un referente para realizar otros trabajos de investigación, ya que presenta datos reales de otros estudios desarrollados anteriormente, además para aquellas personas que estén interesados en las tecnologías eco – amigables, el presente trabajo es de suma importancia, ya que pueden tomar en cuenta para la remoción de parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos, siendo una alternativa menos costosa y colaborativa con el medio ambiente. Los resultados de su eficiencia quedan evidenciados en los porcentajes de remoción que se describen en esta investigación. Finalmente, la población aledaña y que tiene contacto con estas aguas contaminadas podría tener el impacto más relevante, ya que su salud sería la principal beneficiada al tratar estas aguas y cumplir con parámetros establecidos para el uso que necesiten darle.

4.2. Conclusiones

Se estudio los mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales, demostrando su eficiencia en la remoción de los parámetros fisicoquímicos analizados en cada estudio, para *Opuntia ficus-indica* la remoción promedio de los parámetros fue de 58.04% con un tiempo de contacto de 5 minutos y para *Moringa oleífera* la remoción promedio fue de 82.7% con un tiempo de contacto de 20 minutos.

Se determinó el pH y turbidez, la concentración de DBO₅, DQO y SST, inicial y final en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos como coagulantes – floculantes, comprobándose la reducción de estos parámetros y demostrando la posibilidad de aplicación de *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera* en aguas residuales provenientes de industrias.

La evaluación del tiempo de contacto y porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de las aguas residuales industriales, arrojó como resultados que, el mucílago *Opuntia ficus-indica* remueve 66.5% turbidez, 36% DBO₅, 29.2% DQO y 47.8% SST; mientras que, *Moringa oleífera* remueve 79.8% turbidez, 38.1% DBO₅, 57.9% DQO y 59.5% SST, demostrando que esta última especie remueve con mayor efectividad los parámetros con un tiempo de contacto mayor al del mucílago *Opuntia ficus-indica*.

Se analizó los resultados obtenidos de la aplicación de los mucílagos en los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales y se comparó con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, identificando que en la mayoría de investigaciones sobrepasaban los valores permitidos por la mencionada normativa peruana.

REFERENCIAS

- ADNAgro. (2016). MORINGA OLEIFERA: Árbol multiusos de interés forestal para el sur de la península ibérica. *Negocio Agroalimentario y Cooperativo*, 3(20), 1-12. <https://www.cajamar.es/storage/documents/020-moringa-v3-1476963334-bf35c.pdf>
- Amarildo, E. (2011). *Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura* [Archivo PDF]. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4516>
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua: coagulación y floculación*. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- Arango, S., Ortega, W., Álvarez, A. y Medina, J. (2017). *Evaluación del extracto de semillas de Moringa oleífera como agente coagulante en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil* [Tesis de licenciatura, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional de la Universidad EAFIT. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/12230>
- Arias, A., Hernández, J., Castro, A., y Sánchez, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la *M. Oleífera* como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 1, 29-39. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(EdiciónEspecial\)29-39](https://doi.org/10.18684/BSAA(EdiciónEspecial)29-39)
- Baldion, J. y Perea, H. (2019). *Evaluación del efecto de la harina de semilla de moringa como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pelambre de una curtiembre en Bogotá* [Tesis de licenciatura, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle: Repositorio de Tesis Digitales. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1132/

Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D. y Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 7(4), 111-126. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>

Banco Interamericano de Desarrollo (1997). *Manual de caracterización de aguas residuales industriales*.

<https://www.acodal.org.co/holland/memorias/Taller%20Vertimientos/MANUAL%20DE%20CARACTERIZACION%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20INDUSTRIALES.pdf>

Carhuamanca, Z. (2013). *Estudio de la reducción del contenido de lactosa del lactosuero producido por las industrias lácteas utilizando mucílago nopal (Opuntia ficus indica)* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú].

DSpace: Repositorio Institucional Digital.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2668>

Castillo, J. y Silva, I. (2018). *Efecto del coagulante –floculante obtenido del cactus de nopal en la turbidez, DBO₅ y sólidos totales del efluente de la Empresa Casa Grande S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo].

DSpace: Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo.
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11441>

Cedron, O. y Chibilleros, A. (2017). *Diagnóstico del sistema de aguas residuales en Salaverry y propuesta de solución* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Digital de la Universidad Privada Antenor Orrego.

<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/3561>

Cendales, W. y Cañón, O. (2016). *Evaluación de la eficiencia del mucílago del café como coagulante frente al cloruro férrico en los procesos de remoción de sólidos*

suspendidos en el agua [Tesis de licenciatura, Universidad de La Salle]. Ciencia

Unisalle: Repositorio de Tesis Digitales.

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1323&context=ing_ambiental_sanitaria

Chuiza, M., Calderón, S., Vargas, J., Borja, D. y Rennola, L. (2019). Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (*Opuntia ficus indica*). *Ciencia e Ingeniería*, 40(3), 245-252.
<https://www.redalyc.org/journal/5075/507567854003/html/>

Córdova, E. (2019). *Aplicación de sulfato de aluminio y tuna (Opuntia ficus-indica) para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán 2018* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad César Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/38710>

De la Cruz, O. y Moya, G. (2018). *Determinación de la dosificación óptima de agentes coagulantes y floculantes en relación con parámetros fisicoquímicos en el tratamiento del agua de Sanguaza de una empresa pesquera en Chimbote* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Santa]. My Dspace: Repositorio Institucional.
<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3050>

Decreto Supremo N.º 010-2019-VIVIENDA. (11 de marzo de 2019). Normas Legales, N.º 30156, Diario Oficial El Peruano.

Espinosa, R. y Zuluaga, S. (2018). *Evaluación de la capacidad de dos coagulantes naturales para la remoción de cargas contaminantes en el efluente final de la empresa textil INRUZZ S.A.S con respecto al coagulante comercial sulfato de aluminio* [Tesis de

- licenciatura, Universidad El Bosque]. Repositorio Institucional Universidad El Bosque. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3319>
- Gabino, R. (2018). *Opuntia ficus-indica como coagulante para remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de beneficio en avícola La Chacra* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5029>
- García, B. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. RiuNet Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/12458>
- Gerencia Regional Agraria La Libertad (2009). *Cultivo de tuna (Opuntia ficus índica)*. <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>
- Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C. y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>
- Lasso, N. (2020). *Contraste de metodologías usando un coagulante natural (moringa) y tratamiento electroquímico aplicado a aguas contaminadas con colorantes textiles* [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51159>
- Mendoza, F. y Mendoza, B. (2019). *Evaluación de la remoción de aceites y grasas de aguas residuales del taller de mantenimiento mecánico “Clinicar S.R.L.” utilizando la savia del Aloe barbadensis miller mediante floculación natural y aire disuelto*

Cajamarca 2019 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antonio Guillermo

Urrelo]. Repositorio Institucional UPAGU.

<http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1128>

Montenegro, J. (2019). *Comparación de la eficiencia del mucílago de Opuntia ficus indica*

y goma de Caesalpinia spinosa en la mejora de la calidad de agua residual de camal

[Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Digital

de la Universidad César Vallejo.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/43789>

Morales, L., Bergamasco, R., Tavares, C. y Granhen, T. (2004). Estudio de la coagulación –

ultrafiltración como biopolímero quitosana para la producción de agua potable.

Instituto de Ciencia y Tecnología en Residuos, 1198-1207.

<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/06/06-034.pdf>

Nogués, E., Castro, O., Correa, R., Puricelli, M. Gómez, H. y Beale, I. (2013).

Revalorización del cultivo de la tuna forrajera (opuntia ficus-indica) una alternativa

de uso múltiple para las zonas áridas y semiáridas. *Revista de Divulgación Técnica*

Agrícola y Agroindustrial, 35, 1-11. [http://agrarias.unca.edu.ar/wp-](http://agrarias.unca.edu.ar/wp-content/uploads/2018/Revista%20de%20Divulgaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20Agr%C3%ADcola%20y%20Agroindustrial/Revista-35-Revalorizaci%C3%B3n-de-la-tuna-forrajera.pdf)

[content/uploads/2018/Revista%20de%20Divulgaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica](http://agrarias.unca.edu.ar/wp-content/uploads/2018/Revista%20de%20Divulgaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20Agr%C3%ADcola%20y%20Agroindustrial/Revista-35-Revalorizaci%C3%B3n-de-la-tuna-forrajera.pdf)

[%20Agr%C3%ADcola%20y%20Agroindustrial/Revista-35-](http://agrarias.unca.edu.ar/wp-content/uploads/2018/Revista%20de%20Divulgaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20Agr%C3%ADcola%20y%20Agroindustrial/Revista-35-Revalorizaci%C3%B3n-de-la-tuna-forrajera.pdf)

[Revalorizaci%C3%B3n-de-la-tuna-forrajera.pdf](http://agrarias.unca.edu.ar/wp-content/uploads/2018/Revista%20de%20Divulgaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20Agr%C3%ADcola%20y%20Agroindustrial/Revista-35-Revalorizaci%C3%B3n-de-la-tuna-forrajera.pdf)

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). *Fiscalización ambiental en*

aguas residuales. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Pacheco, P. y Zapana, K. (2018). *Evaluación de los parámetros en el proceso de*

clarificación de aguas de la subcuenca del río Yura en la zona La Caleta para la

potabilización de aguas de la JASS-VITOR [Tesis de licenciatura, Universidad

Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional de la UNAS.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7572>

Pascual, M. (17 de marzo de 2016). *Alternativas para el tratamiento de efluentes industriales.*

https://www.um.es/documents/3456781/3691285/Depuracion_Llorens-1.pdf/2c454f3d-c5f8-422d-9e53-bc20e5f5b792

Perdomo, A. (2018). *Determinación de la eficiencia de coagulantes de origen natural para el tratamiento de las aguas residuales de una Unidad de Producción Minera en la Vereda El Tamboral en el municipio de Suarez – Cauca* [Tesis de licenciatura, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca]. Repositorio de Uniautónoma del Cauca. <http://repositorio.uniautonomadeuca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/308>

Plataforma Digital del Estado Peruano. (28 de junio de 2021). *Valores Máximos Admisibles (VMA)*. <https://www.gob.pe/12808-valores-maximos-admisibles-vma>

Raffo, E. y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80.
<https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>

Ramírez, J., Gómez, B., Veloz, R., Herrera, I., Mejía, L. y Ramos, D. (17 de agosto de 2016). *Absorción ultravioleta y visible de mucílago* [Ponencia]. XIII encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia, León, Guanajuato.
http://congresos.cio.mx/13_enc_mujer/cd/cd_congreso_mujer_XIII/archivos/resumenes/S1/S1-BCA15.pdf

Ramírez, J., Martínez, O. y Fernández, L. (2013). Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula. *AVANCES*

- Investigación en Ingeniería*, 10(1), 42-49.
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/2725/2145>
- Ramírez, L., Domínguez, M., García, J., Montuy, R. y Oaxaca, M. (2008). *Demanda química de oxígeno de muestras acuosas*.
http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/127/2/Libro%20DQO%202008.pdf
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2561>
- Robledo, V., Velázquez, M., Montañez, J., Pimentel, J., Vallejo, A., López, M. y Venegas, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de Morelia, Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 221-235.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v33n2/0188-4999-rica-33-02-00221.pdf>
- Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L. y López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 1(1), 59-68.
<https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531968005.pdf>
- Romero, J., Santiso, P. y González, O. (2014). Caracterización de las aguas residuales de la empresa procesadora de alimentos Prodal, Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 35(3), 88-100. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v35n3/riha07314.pdf>

Sampieri, R., Collado, C. y Lucio, P. (2003). *Metodología de la investigación*.

<http://metodos-comunicacion.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/219/2014/04/Hernandez-Sampieri-Cap-1.pdf>

Silva, M. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso*

de coagulación-floculación de aguas turbias [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Marcos]. Cybertesis: Repositorio de Tesis Digitales. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7155>

Suárez, C. (2019). *Eficiencia de la Opuntia ficus-indica y Moringa oleífera para mejorar la*

calidad de aguas residuales [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36665>

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2016). *Diagnóstico de las Plantas*

de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento, Lima, Perú. <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Urquía, K. (2017). *Eficiencia de la Opuntia Ficus-Indica frente a la Moringa Oleífera, en el*

tratamiento de aguas del Río Huaycoloro, SJL-2017 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10877>

Vaca, M., López, R., Flores, J., Terres, H., Lizardi, A. y Rojas, N. (2014). Aplicación del

nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario de aguas residuales. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 7 (3), 210-216.

<http://www.journals.unam.mx/index.php/aidis/article/view/46815/42201>

- Vargas, J., Vera, G. y Suppé, N. (2019). Caracterización físico-química, microscópica de barrido y dispersión de rayos x del mucílago de cladodios de opuntia ficus indica en la región alta de Tacna. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 305-314. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000300003&lng=es&tlng=es.
- Vásquez, F. (2019). *Uso de tara (Caesalpinia spinosa) en comparación con linaza (Linum usitatissimum) como coagulantes para el tratamiento de efluentes provenientes de avícolas del mercado Puente Piedra, 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56137>
- Vázquez, E. y Guadalupe, T. (2016). *pH: Teoría y 232 problemas* (1ª ed.). Casa abierta al tiempo. <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>

ANEXOS

Tabla 21

Matriz de consistencia

TÍTULO: Estudio de los mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales.			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA Y DISEÑO
¿Cuál es el resultado del estudio de mucílagos como coagulantes - floculantes en el tratamiento de aguas residuales?	<p>O. General:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estudiar los mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales. <p>O. Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recopilar investigaciones referentes al estudio de mucílagos como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales. - Determinar el pH y turbidez, la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), 	<p>H. General:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los mucílagos actúan eficientemente como coagulantes – floculantes en el tratamiento de aguas residuales industriales. 	<p>Tipo de investigación: Descriptiva</p> <p>Diseño: No experimental – transversal</p> <p>Método: Cualitativo.</p> <p>Población: 35 investigaciones entre artículos científicos, revistas y tesis referentes al estudio de mucilagos como floculantes – coagulantes en el tratamiento de aguas residuales.</p> <p>Muestra: 9 estudios referente al tema.</p>

demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales en suspensión (SST), inicial y final en el tratamiento de las aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos como coagulantes – floculantes.

- Evaluar el tiempo de contacto y porcentaje de remoción de la turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales en suspensión (SST), en el tratamiento de aguas residuales industriales con la aplicación de mucílagos como coagulantes – floculantes.

Técnicas:

Revisión documental.

Instrumentos:

- Fichas de recolección de información.
- Fichas de resumen.

Tabla 22 Ficha de resumen de la investigación *E-muc1*

TÍTULO	Evaluación del extracto de semillas de <i>Moringa oleifera</i> como agente coagulante en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil.
AUTOR (ES)	Arango, S., Ortega, W., Álvarez, A. y Medina, J.
AÑO DE PUBLICACIÓN	2017
TIPO DE DOCUMENTO	Tesis de licenciatura
PARÁMETRO ANALIZADO	pH, turbidez, DBO ₅ , DQO y SST
RESUMEN	En este trabajo se evaluó el extracto de semillas del mucílago <i>Moringa oleifera</i> como coagulante en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil. Su diseño experimental, permitió la reducción de valores iniciales y finales del tratamiento, como: pH (6.94 - 6.41), turbidez (410 NTU - 57.4 NTU), DBO ₅ (113 mg/L - 82 mg/L), DQO (603 mg/L – 355 mg/L) y SST (3.45 mg/L - 1.82 mg/L), alcanzando porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: turbidez (86%), DBO ₅ (27.43%), DQO (41.13%) y SST (47.25%).

Tabla 23 Ficha de resumen de la investigación E-muc2

TÍTULO	Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la <i>M. Oleífera</i> como coagulante natural.
AUTOR (ES)	Arias, H., Hernández, J., Castro, A., y Sánchez, N.
AÑO DE PUBLICACIÓN	2017
TIPO DE DOCUMENTO	Artículo científico
PARÁMETRO ANALIZADO	pH, turbidez, DBO ₅ , DQO y SST
RESUMEN	En este trabajo se evaluó el polvo de las semillas del mucílago <i>Moringa oleífera</i> como coagulante en el tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio. Su diseño experimental, permitió la reducción de valores iniciales y finales del tratamiento, como: pH (7.5 – 67.5), turbidez (73 NTU – 31 NTU), DBO ₅ (2 037 mg/L - 1 620 mg/L), DQO (5 143 mg/L – 3 695mg/L) y SST (509 mg/L - 408 mg/L), alcanzando porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: turbidez (57.5%), DBO ₅ (20.5%), DQO (28.2%) y SST (19.8%).

Tabla 24 Ficha de resumen de la investigación E-muc3

TÍTULO	Determinación de la dosificación óptima de agentes coagulantes y floculantes en relación con parámetros fisicoquímicos en el tratamiento del agua de Sanguaza de una empresa pesquera en Chimbote.
AUTOR (ES)	De la Cruz, O. y Moya, G.
AÑO DE PUBLICACIÓN	2018
TIPO DE DOCUMENTO	Tesis de licenciatura
PARÁMETRO ANALIZADO	pH, DBO ₅ y SST
RESUMEN	En este trabajo se evaluó el mucílago <i>Opuntia ficus-indica</i> como coagulante en el tratamiento del agua de Sanguaza de una empresa pesquera. Su diseño experimental, permitió la reducción de valores iniciales y finales del tratamiento, como: pH (6.52 – 8), DBO ₅ (146 mg/L - 74 mg/L), y SST (214 mg/L - 120 mg/L), alcanzando porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: DBO ₅ (49.32%) y SST (49.93%).

Tabla 25 Ficha de resumen de la investigación E-muc4

TÍTULO	Evaluación de la capacidad de dos coagulantes naturales para la remoción de cargas contaminantes en el efluente final de la empresa textil INRUZZ S.A.S con respecto al coagulante comercial sulfato de aluminio.
AUTOR (ES)	Espinoza, R. y Zuluaga, S.
AÑO DE PUBLICACIÓN	2018
TIPO DE DOCUMENTO	Tesis de licenciatura
PARÁMETRO ANALIZADO	pH, turbidez, DQO y SST
RESUMEN	En este trabajo se evaluó los mucílagos <i>Opuntia ficus-indica</i> y <i>Moringa oleífera</i> como coagulantes en el tratamiento de aguas de una empresa textil. Su diseño experimental, permitió la reducción de valores iniciales y finales del tratamiento, como: pH (3 – 3.01), turbidez (87.4 NTU – 79.5 NTU), DQO (525 mg/L – 274 mg/L), SST (582.5 mg/L – 280.1 mg/L) y pH (3 – 3.09), turbidez (87.4 NTU – 29.5 NTU), DQO (525 mg/L – 391 mg/L), SST (582.5 mg/L – 147 mg/L) respectivamente, alcanzando porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: turbidez (9%), DQO (27.4%) y SST (51.9%) y turbidez (66.2%), DQO (25.5%) y SST (74.8%) respectivamente.

Tabla 26 Ficha de resumen de la investigación E-muc5

TÍTULO	<i>Opuntia ficus-indica</i> como coagulante para remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de beneficio en avícola La Chacra.
AUTOR (ES)	Gabino, R.
AÑO DE PUBLICACIÓN	2018
TIPO DE DOCUMENTO	Tesis de licenciatura
PARÁMETRO ANALIZADO	turbidez, DBO ₅ , DQO y SST
RESUMEN	<p>En este trabajo se evaluó el mucílago <i>Opuntia ficus-indica</i> como coagulante en el tratamiento del efluente de beneficio en avícola. Su diseño experimental, permitió la reducción de valores iniciales y finales del tratamiento, como: turbidez (311 NTU – 20.35 NTU), DBO₅ (1 997.5 mg/L – 1 407.0 mg/L), DQO (2 947.5 mg/L – 2 131.75 mg/L) y SST (540.3 mg/L – 191.43 mg/L), alcanzando porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: turbidez (93.4%), DBO₅ (29.6%), DQO (27.7%) y SST (64.6%).</p>

Tabla 27 Ficha de resumen de la investigación E-muc6

TÍTULO	Evaluación del efecto de la harina de semilla de <i>moringa</i> como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pelambre de una curtiembre en Bogotá.
AUTOR (ES)	Baldion, J. y Perea, J.
AÑO DE PUBLICACIÓN	2019
TIPO DE DOCUMENTO	Tesis de licenciatura
PARÁMETRO ANALIZADO	pH, turbidez, DBO ₅ , DQO y SST
RESUMEN	En este trabajo se evaluó el mucílago <i>Moringa oleífera</i> como coagulante en el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pelambre de una curtiembre. Su diseño experimental, permitió la reducción de valores iniciales y finales del tratamiento, como: pH (12.2 – 6.19), turbidez (2 741 NTU – 167.75 NTU), DBO ₅ (2 515.5 mg/L – 846 mg/L), DQO (4 762.5 mg/L – 1 222 mg/L) y SST (2 354.5 mg/L – 269 mg/L), alcanzando porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: turbidez (93.9%), DBO ₅ (66.4%), DQO (74.3%) y SST (96.2%).

Tabla 28 Ficha de resumen de la investigación E-muc7

TÍTULO	Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>).
AUTOR (ES)	Chuiza, M., Calderón, S., Vargas, J., Borja, D. y Rennola, L.
AÑO DE PUBLICACIÓN	2019
TIPO DE DOCUMENTO	Artículo científico
PARÁMETRO ANALIZADO	pH, turbidez, DBO ₅ , DQO y SST
RESUMEN	<p>En este trabajo se evaluó el mucílago <i>Opuntia ficus indica</i> como coagulante en la clarificación de un agua residual de una industria láctea. Su diseño experimental, permitió la reducción de valores iniciales y finales del tratamiento, como: pH (4.18 – 5.32), turbidez (361 NTU – 80 NTU), DBO₅ (4 915 mg/L – 4 230 mg/L), DQO (2 895 mg/L – 2 120 mg/L) y SST (1 525 mg/L – 1 052 mg/L), alcanzando porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: turbidez (77.84%), DBO₅ (13.9%), DQO (26.83%) y SST (31%).</p>

Tabla 29 Ficha de resumen de la investigación E-muc8

TÍTULO	Aplicación de sulfato de aluminio y tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán 2018.
AUTOR (ES)	Córdova, E.
AÑO DE PUBLICACIÓN	2019
TIPO DE DOCUMENTO	Tesis de licenciatura
PARÁMETRO ANALIZADO	pH, turbidez, DBO ₅ y DQO
RESUMEN	En este trabajo se evaluó el mucílago <i>Opuntia ficus indica</i> con el fin de remover la materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán. Su diseño experimental, permitió la reducción de valores iniciales y finales del tratamiento, como: pH (7.25 – 8.01), turbidez (85 NTU – 12.1 NTU), DBO ₅ (751 mg/L – 352 mg/L) y DQO (1 500 mg/L – 971.33 mg/L), alcanzando porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: turbidez (85.76%), DBO ₅ (53.12%) y DQO (35.24%).

Tabla 30 Ficha de resumen de la investigación E-muc9

TÍTULO	Contraste de metodologías usando un coagulante natural (moringa) y tratamiento electroquímico aplicado a aguas contaminadas con colorantes textiles.
AUTOR (ES)	Lasso, N.
AÑO DE PUBLICACIÓN	2020
TIPO DE DOCUMENTO	Tesis de licenciatura
PARÁMETRO ANALIZADO	pH, turbidez y DQO
RESUMEN	En este trabajo se evaluó el mucílago <i>Moringa oleífera</i> como coagulante en el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes textiles. Su diseño experimental, permitió la reducción de valores iniciales y finales del tratamiento, como: pH (7.06 – 7.06), turbidez (152 NTU – 7 NTU) y DQO (550 mg/L – 205 mg/L), alcanzando porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: turbidez (95.4%) y DQO (62.73%).