

Importance of the natural coagulant *Opuntia Ficus-Indica* for the removal of turbidity in water, in the period from 2012 to 2022: A review of the scientific literature

Pamela Alexandra Jacobo Salinas¹, Norma Yhanilu Mugerza Salazar², and Magda Velasquez Marín Mtr³
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, pamelajacobo52@gmail.com, muguerza2001@gmail.com, magdavema@gmail.com

Abstract– Water pollution is a worldwide problem, which is why the use of traditional technologies is sought due to their potential and biodegradability, reducing the use of synthetic coagulants. That is why this research aims to identify the importance of the natural coagulant Opuntia Ficus-Indica for the removal of turbidity in waters worldwide according to the research journals of the database of the last ten years. Faced with this, information was consulted in repositories and in various databases such as: Scopus, ScienceDirect, Dialnet, Redalyc, Scielo, Alicia, Google Scholar, ProQuest, Researchgate and Iopscience. For the selection criteria of the articles and theses, the period 2012-2022 was considered, indexed journals, English and Spanish language, and that meet the research objective. Among the limitations is the slight information, private access and lack of knowledge of foreign languages. As a result, the highest turbidity removal was obtained with 99.56% and the lowest value with 50.5%. In summary, the natural coagulant Opuntia Ficus-Indica is important for its removal capacity, pH inalterability, biodegradable, without generation of toxic sludge and is not harmful to health.

Keywords – Natural coagulant, Opuntia Ficus-Indica, turbidity, removal

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Importancia del coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* para la remoción de turbidez en aguas, en el periodo del 2012 al 2022: Una revisión de la literatura científica

Pamela Alexandra Jacobo Salinas¹, Norma Yhanilu Mugerza Salazar², and Magda Velasquez Marín Mtr³
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, pamelajacobo52@gmail.com, muguerza2001@gmail.com, magdavema@gmail.com

Resumen– La contaminación de las aguas es un problema a nivel mundial, por lo que se busca el empleo de tecnologías tradicionales por su potencialidad y biodegradabilidad, reduciendo el uso de los coagulantes sintéticos. Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo identificar la importancia del coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* para la remoción de turbidez en aguas a nivel mundial de acuerdo a las revistas de investigación de la base de datos de los últimos diez años. Frente a ello se consultó información en repositorios y en diversas bases de datos tales como: Scopus, ScienceDirect, Dialnet, Redalyc, Scielo, Alicia, Google académico, ProQuest, Researchgate y Iopscience. Para los criterios de selección de los artículos y tesis se consideró el periodo del 2012-2022, revistas indexadas, idioma inglés como español, y que cumplan con el objetivo de investigación. Dentro de los limitantes se encuentra la leve información, el acceso privado y la falta de conocimiento de idiomas extranjeros. Como resultado se obtuvo la mayor remoción de turbidez con un 99.56% y el menor valor con un 50.5%. En síntesis, el coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* es importante por su capacidad de remoción, inalterabilidad de pH, biodegradable, sin generación de lodos tóxicos y no es dañino para la salud.

Palabras claves– Coagulante natural, *Opuntia Ficus-Indica*, turbidez, remoción

I. INTRODUCTION

Se le conoce como coagulante natural a todo lo que tiene procedencia vegetal, siendo este un componente biodegradable y con características similares al de uno sintético, puesto que su función como parte de la coagulación es la desestabilización de las partículas en suspensión que va tener el agua a tratar, lo que ocasiona una mejor capacidad para la sedimentación y disminución del parámetro de turbidez que se tiene en un inicio [1]. La turbidez es un indicativo de contaminación, por lo que su remoción es vital puesto que se van a eliminar las partículas en suspensión y disoluciones sólidas, líquidas y gaseosas del agua, ya que genera pérdida en su transparencia deteriorando su calidad [2].

La contaminación del agua es una de las causas de millones de muertes infantiles cada año en los países en desarrollo, por lo que es necesario potabilizar el agua con tratamientos elementales como la clarificación, la desinfección y el acondicionamiento químico y organoléptico [3]. La clarificación es una etapa importante en la potabilización del agua cruda que incluye el proceso de coagulación-floculación [4]; de este modo, las partículas se asientan y se eliminan los

materiales en suspensión, lo que permite que el agua alcance las características físicas y organolépticas adecuadas para el consumo humano según las normas y estándares de salud pública [5]. Como alternativa, los países en vías de desarrollo han adaptado una serie de tecnologías tradicionales para remover la turbidez del agua en el ámbito doméstico. De ellas la más estudiada es la utilización de extractos naturales de plantas para la clarificación del agua cruda [6]. Además, 663 millones de personas emplean agua de origen no mejoradas, también llamadas, aguas superficiales, pozos excavados y manantiales no protegidos. Sin embargo, los datos procedentes de la nueva tecnología disponible para hacer pruebas indican que unos 1.800 millones de personas podrían estar bebiendo agua contaminada [7]. El 93% de las personas que se abastecen de estas aguas viven en zonas rurales. Si a esto se añaden los efectos de la variabilidad climática, el crecimiento de la población y la demanda de agua para uso doméstico y productivo, aumenta la necesidad de utilizar fuentes alternativas [8].

Actualmente hay una gran variedad de coagulantes de origen vegetal, entre los cuales los más estudiados son: *Moringa Oleifera*, *Opuntia Ficus-Indica*, *Quitosano*, *Taninos*, *Cicer arietinum*, *Ocimum basilicum* y *semillas de Cassia* [9]. Este estudio se basa en detallar la importancia del *Opuntia Ficus-Indica* como coagulante para el tratamiento de aguas, puesto que es de relevancia buscar alternativas que solucionen los problemas que generan contaminación de las aguas mundiales y que sean productos que minimicen los efectos secundarios al realizar el tratamiento [10]. Esta planta presenta diversos aspectos positivos al momento de emplearla como coagulante para el proceso de clarificación de aguas minimizando la turbidez [11].

Es por ello que se debe de adentrarse más en estudiar el coagulante natural, puesto que es una opción óptima y ventajosa a los tradicionales coagulantes sintéticos [12]. En síntesis, los expositores que se van a mencionar en sus diferentes investigaciones concuerdan que el estudio del uso del coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* es importante por su alto potencial como: Su capacidad de remoción en turbidez obteniendo porcentajes aceptables, inalterabilidad del pH, ecológicos, sobre todo no generan lodos contaminantes y son menos tóxicos para la salud [13].

Según los expositores [14] afirman la posibilidad de la inclusión de coagulantes vegetales, al ser este un beneficio para la población por ser una vía eficaz para el tratamiento de aguas, logrando una reducción de turbidez en el río Magdalena cerca del 62% y sin una alteración significativa en el pH. Del mismo modo [15] evaluaron la eficiencia de la planta, obteniendo una capacidad de remoción del 70% de turbidez de las aguas crudas, además de no alterar el pH, siendo esta una alternativa recomendable a los coagulantes sintéticos por crecer de forma silvestre en climas áridos y muy áridos con lluvias de verano. Al mismo tiempo [16] afirma que la especie *Opuntia Ficus-Indica* fue capaz de reducir significativamente la turbidez con una remoción que va del 92 al 99 % haciendo que el acceso al agua limpia sea seguro en las zonas rurales.

Según la literatura [17] en su estudio demostró que el coagulante de *Opuntia Ficus-Indica* es efectivo en la remoción de turbidez, alcanzando porcentajes de remoción entre 97.1% a 99.5%, sin afectar el pH. Con base en lo anterior, el coagulante se plantea como una alternativa para el tratamiento de agua cruda de baja y alta turbidez, siendo más óptima cuando ésta es alta. Así mismo [18] validaron la reducción del parámetro turbidez hasta un 85% con la utilización del *Opuntia Ficus-Indica*; demostró su alto potencial como coagulante natural al tener resultados óptimos, ser un producto ecológico, menos costoso y eficaz en la remoción de turbidez para tratar el agua contaminada, llegando a compararse a la efectividad de los coagulantes químicos.

Por todo lo expuesto, se logra plantear el siguiente objetivo de investigación: Identificar la importancia del coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* para la remoción de turbidez en aguas a nivel mundial de acuerdo a las revistas de investigación de la base de datos de los últimos diez años.

II. METODOLOGÍA

El presente capítulo tiene de base la metodología prisma, el cual se basa en una revisión sistemática de la literatura científica que parte de la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la importancia del uso de coagulantes naturales como el *Opuntia Ficus-Indica* para la remoción de parámetros de turbidez y color en aguas a nivel mundial de acuerdo a las revistas de investigación de la base de datos de los últimos diez años?

A. Criterios de selección

Se consideraron tanto artículos científicos como tesis con ciertos criterios alineados al objetivo de investigación. Por consiguiente, fueron seleccionados en un rango de años de la última década por la actualidad en que se van encontrar en las bases de datos del 2012 al 2022, asimismo se tomó en cuenta dos idiomas: español e inglés, con respecto a la calidad de la revista esta debe ser indexada teniendo una base de datos confiables, el lugar de estudio de las investigaciones obtenidas debe ser a nivel mundial y tener acceso libre al documento.

Para la exclusión se tomaron en cuenta los siguientes puntos: a) Fecha de publicación fuera del rango establecido, b) Investigación restringida por derechos de autor o retiradas de la base de datos, c) No se alinea a la pregunta de investigación de la revisión sistemática empleada y d) Excluye las variables: Coagulante natural, *Opuntia Ficus-Indica* y remoción de turbidez.

B. Recursos e información

Se consultaron diversas bases de datos confiables para la investigación de artículos científicos, tales como: Scopus, ScienceDirect, Dialnet, Redalyc, Scielo, Alicia, Google académico, ProQuest, Researchgate y Iopscience. Por otro lado, se recolectó información de repositorios, tales como: Repositorio Institucional Continental, Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Repositorio Institucional Universidad Nacional de Huancayo (UNH), Repositorio Institucional Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), y Repositorio de la Universidad César Vallejo (UCV).

En lo que respecta artículos de revistas fueron obtenidos de: Avances investigación de ingeniería, Producción + limpia, DYNA, Revista colombiana de biotecnología, Ciencia e ingeniería, Tecnología química, Separation and Purification Technology, Aporte santiaguino, Desalination and Water Treatment, Environ Monit Assess, Journal of Water Resource and Protection, 2nd International Conference on New Frontiers in Chemical, Energy and Environmental Engineering (INCEEE - 2019), Environmental Advances, Global Journal of Environmental Science and Management, Environmental Science and Pollution Research, Revistas Bolivianas, UNAJ – Institucional, información tecnológica, International Journal of Science and Research, Ingeniería del Agua, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Journal of Water Chemistry and Technology, Iwapomline, Chemical Engineering Transactions, y Algerian Journal of Engineering Research.

En general la cantidad de artículos científicos encontrados fue de 45 y de repositorios de tesis 5.

C. Búsqueda

Se empleó estrategias de búsquedas para una mejor recopilación de investigaciones tomando en cuenta el intervalo de años propuesto, un alcance a nivel de estudio mundial, búsqueda en español e inglés, y que los artículos al momento de seleccionarlos cumplan con la pregunta de investigación.

Por otra parte, conforme a las variables que surgen de la pregunta de investigación se hizo uso de las palabras claves tanto en español como inglés, las cuales fueron: “Coagulante natural”, “*Opuntia Ficus-Indica*”, “Remoción de turbidez”, “clarificación del agua”, “nature coagulant”, “Turbidity removal”, y “water clarification”.

D. Descarte e inclusión

Tomando en cuenta los artículos científicos y tesis que tenían una relación con el propósito de la investigación, se incluyeron los siguientes puntos: Responden al objetivo de la investigación, la metodología es cualitativa y cuantitativa exploratoria, son revistas indexadas, se encuentran en el intervalo de tiempo del 2012 al 2022, su alcance es de nivel mundial y el idioma es tanto español como inglés. En cuanto al criterio de descarte de artículos se tomó en cuenta lo siguiente: No son relevantes para la investigación, tienen acceso privado, se encuentran retirados de la base de datos y están fuera del rango de años mencionados.

E. Selección de datos

Con relación al orden de clasificación de los documentos fue de manera detallada en una ficha de registro teniendo en cuenta los siguientes datos de estudio: Autores, nombre de la revista, país de la investigación, año, base de datos confiables, inclusión y exclusión. Al final, para la selección de datos quedaron un total de 25 artículos científicos y 5 tesis que cumplieron con los criterios.

III. RESULTADOS

A. Proceso de selección de estudios

Para la realización de la revisión sistemática se empleó un mecanismo por medio del método prisma para la selección de los estudios de las diferentes bases de datos, tal como se detalla en la Fig. 1.

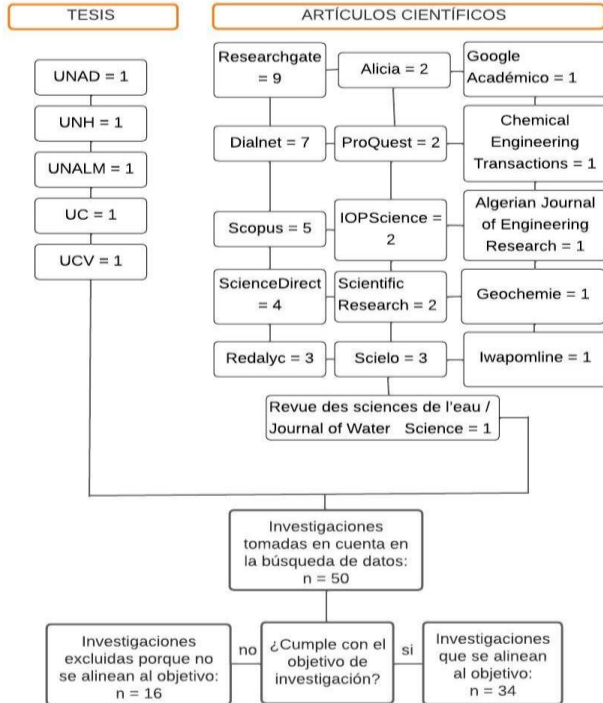


Fig. 1 Diagrama de Flujo Prisma del proceso Selección de Estudios

B. Características de los estudios

De los 34 artículos escogidos, se pudo visualizar por la clasificación, de los trabajos de investigación seleccionados según la base de datos, cuyos valores arrojan que un 18% fue hallado en Researchgate, con 6 trabajos extraídos; un 12% en Dialnet, con 5 trabajos extraídos; un 6% Redalyc y Scielo, con 3 trabajos extraídos en cada uno; un 4% en ScienceDirect y ProQuest, con 2 trabajos extraídos y finalmente con un 2% Universidad César Vallejo, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Universidad Nacional de Huancayo, Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad Continental, Scopus, Google Academic, Iwapomline, Iopscience, IOP, CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, y Algerian Journal of Engineering Research.

Adicionalmente, según el tipo de investigación científica a la que pertenece el total de las 34 investigaciones incluidas, resultó que el 85% equivalen a 29 artículos, en el cual la base de datos Researchgate presentó la mayor cantidad y el 15% restante equivale a 5 tesis, en el cual la base de datos todos presentaron la misma cantidad.

Con respecto al análisis de los países en los que se realizaron los estudios, tenemos como principal a Colombia y Perú, que cuenta con 9 artículos con un 26%, seguido de India, con 5 artículos con un 15%, luego se encuentra Marruecos y México, con 2 artículos que representa un 6%, mientras que en el resto de los países como Argelia, Bolivia, Brasil, Cairo, Canadá, Ecuador e Irak únicamente se ha encontrado 1 artículo, representando 3% de cada país de los trabajos de investigación. Observar Fig. 2.



Fig. 2 Inclusión por País

Para la clasificación temporal, se obtuvo como resultado que el año en el cual se han publicado mayor cantidad de artículos, son los años 2018 con 7 artículos representando el 21%; seguido del 2020 donde se publicaron 6 investigaciones, con un 18% representativo; el 2019 se representan con un 15%, con 5 trabajos; en los años 2013 y 2014 donde se publicaron 4 artículos en cada uno, representado por un 12%; luego en los años 2017 y 2022, 2 investigaciones con un 6% y finalmente los años con menor publicaciones fueron 2012, 2015, 2016 y 2021, cada año con 1 sola publicación, representando el 3%. Observar Fig. 3.

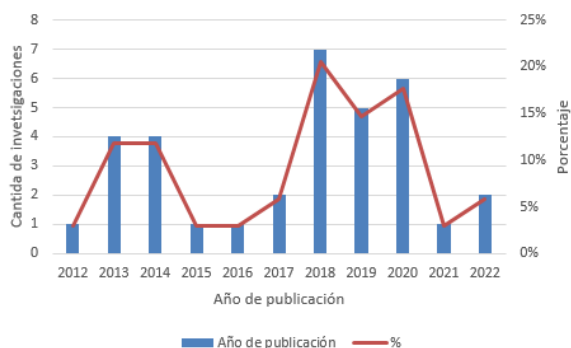


Fig. 3 Inclusion Según el Año

Con respecto al idioma de las investigaciones científicas seleccionadas, se encontraron que del 85% de los artículos, 17 se encuentran en español y 12 se encuentran en inglés, del mismo modo, el 15% que representa a las 5 tesis, se encuentran en español. Observar Fig. 4.

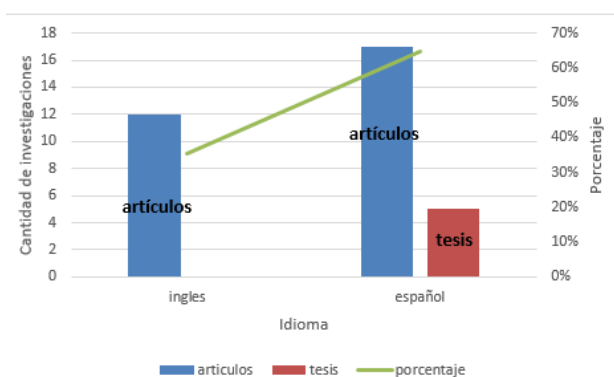


Fig. 4 Inclusion por Idioma

C. Análisis global de los estudios (Respondiendo a la pregunta de investigación)

La presente revisión sistemática tiene la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la importancia del coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* para la remoción de turbidez en aguas a nivel mundial de acuerdo a las revistas de investigación de la base de datos de los últimos diez años?

Según la revisión bibliográfica realizada, la *Opuntia Ficus-Indica* es de gran importancia ya que reduce la turbidez en un 98% con respecto a un rango de turbidez inicial. Operando a través de un mecanismo de coagulación puente [2]. Entonces de acuerdo a lo expuesto se puede aseverar que posee eficiencia en ser aplicado en muestras de turbidez baja, mediana y alta, mejorando su eficiencia en muestras de alta turbidez [19]; asimismo en los reportes verificados indican que no genera variaciones significativas en la conductividad y pH de las muestras, lo que representaría una ventaja al no necesitar modificadores de pH. Si bien es cierto en comparación con coagulantes químicos no logra en ciertos casos ser tan eficiente como ellos, esto se deja de lado viendo todos los aspectos positivos que trae consigo. Al ser biodegradable, respetuoso con el ambiente, abundante, barato y seguro para la sudo humana [20]. La eficiencia de este coagulante natural se muestra en la recopilación de varios autores donde indican que no genera lodos a diferencia de uno químico [21]. También podemos mencionar que los efectos que tiene los factores sobre la remoción es de gran relevancia ya que como lo es la temperatura a niveles más elevados [22] y la velocidad de agitación sobre el parámetro de turbidez actúa como una variable dependiente [5] para la clarificación del agua. Finalmente hablando de la forma en que es extraído el coagulante de la *Opuntia Ficus-Indica* lo tenemos en mucílago, gel y polvo de nopal, en los tres estados según la revisión se obtuvo una gran parte de remoción de turbidez.

D. Análisis global de los estudios (Respondiendo al objetivo de investigación)

El objetivo de la presente investigación es: Identificar la importancia del coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* para la remoción de turbidez en aguas a nivel mundial de acuerdo a las revistas de investigación de la base de datos de los últimos diez años. A continuación, en la tabla I se podrá visualizar los 34 artículos científicos utilizados para la revisión sistemática, la cual presenta los siguientes ítems: Referencia, preparación del coagulante, planta silvestre, pruebas de jarras, dosis óptima – concentración del coagulante, velocidad de agitación óptima, solución coagulante, pH inicial, pH final, comparación con otros coagulantes, % Remoción de turbidez y remoción $\geq 70\%$.

TABLA I
RECOLECCIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS QUE RESPONDEN AL OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Referencia	Preparación del coagulante	Planta silvestre	Prueba de jarras	Dosis óptima	Velocidad de agitación óptima	Solución coagulante	pH inicial	pH final	Comparación con otros coagulantes	% Remoción turbidez	Remoción $\geq 70\%$
[5]	Pelado, lavado, escurrido, almacenamiento, troceado, molienda, tamizado, centrifugado y secado.	si	si	N.I. (35 y 40 mg/L)	S.I. 200 rpm	x	6,55	6,41	alumbre, 99.30% y pH 6.55 a 5.44	83.66%	si

[27]	Extracción de producto, troceado, molienda, tamizado, extracción sólido-líquido y secado.	si	si	N.I. 40 mg/L	N.I. 100 rpm	x	7	6,9	alumbre, 99,80% y pH 7.0 a 5,99	93,25%.	si
[28]	Extracción del coagulante, pelado, troceado, licuado, molienda, tamizado, extracción líquido-líquido, secado, molienda y tamizado.	si	no	0,75%	x	1%	6,61	7,2	99,09 %R San Pedro, 92,42 %R Ulluquite	98,98%	si
[15]	Corte, pelado, secado, molienda, tamizado y des pigmentado para obtener el coagulante.	si	si	S.I. 90 mg/L	30 rpm	x	7,8	7,5 y 7,9	x	70%	si
[29]	Lavado, pelado, cortado, secado, molienda, tamizado y extracción.	si	si	20 mg/L	90 rpm	2%	5,32	4,53	x	77,84%	si
[30]	Pelado, corte, licuado, molienda y filtrado.	si	no	10 a 20 mg/L	x	3%	7,43	6,7 y 5,2	x	80-90%	si
[26]	Recolección, lavado, secado, cortado, secado, triturado, tamizado y almacenado.	si	si	50 mg/L	125 rpm	x	2 - 11	3 - 10	x	40 y 60%	no
[2]	x	si	si	45 mg/L	x	5,30%	8	7 y 7,9	Mashua 93%, papa 94%, tara 97,42% y trigo 90,3%.	98%	si
[31]	x	si	si	10 mg/L a 40 mg/L	x	5,30%	8	7 y 7,9	Mashua 93%, papa 94%, tara 97,42% y trigo 90,3%.	75,40%	si
[32]	Limpieza, pesado, pelado, trozado, extracción de mucílago, envasado y etiquetado.	si	si	50 mg/L	100 rpm	1 y 2%	12,5	6,1	Opuntia wentiana 94,84%.	91,00%	si
[19]	Reducción, secado, molienda y tamizado, extracción de pigmento y almacenamiento.	si	si	10, 30, 50, 70, 90, 110 mg/L	100 rpm	2%	9	8,75	Sulfato de aluminio 99,80%.	85,87%	si
[33]	Remoción de cutícula, cortado, reposo, tamizado y coagulante	si	si	57,75; 63,52 y 61,84 mg/L.	100, 120 y 150 rpm	5%	8,74	6,93	Sulfato de aluminio 90 y 99%.	99,33%	si

[34]	Lavado, cortado, secado en horno, molienda y macerado.	si	si	40 mg/L	30 rpm	x	7,21	7,12	Sulfato de Aluminio Al ₂ (SO ₄) ₃ 94% y Cloruro Férrico FeCl ₃ 98%:	76,00%	si
[35]	x	si	si	40 mg/L	200 rpm	x	7,43	x	Caesalpinia spinosa 48,47% y Aloe vera 42,48%.	61,09%	no
[20]	x	si	si	x	200 rpm	x	5 - 11	7,2 - 7,8	FeCl ₃ 93,78%.	82,60%	si
[36]	Recolectado, lavado, pelado y la goma obtenida fue almacenado.	si	si	160 mg/L	120 rpm	x	5	6	X	95,00%	si
[37]	x	si	no	190 mg/L	x	x	x	x	Alumbre y cloruro férrico 98%.	92-99%	si
[21]	Pelado, cortado, secado al horno, molió y tamizó.	si	si	35 mg/L	150 rpm	10%	x	5,5	Moringa olifera 82,02% y Cicer arietinum 81,20%.	88,55%	si
[38]	x	si	si	87,5, 175 y 350 mg/L	300 rpm	2%	8,5	x	x	70,00%	no
[39]	Lavado, secado, triturado, tamizado, almacenado, secado.	si	si	100 mg/L	250 rpm	x	x	x	x	96,00%	si
[22]	Retito de espinas, molienda, tamizado, estufa de secado, molienda y mortero, tamizado.	si	si	160 mg/L	100 rpm	x	7.2	7.3	Al ₂ (SO ₄) ₃ a 25 °C con turbiedad de 0,74 UNT - cascara de papa a 19°C con turbiedad de 1,93 UNT - semilla de durazno a 19°C con 4,64 UNT.	óptimo	si
[5]	Pelado, lavado, escurrido, almacenado, troceado, molienda, tamizado, centrifugado y secado.	si	si	40 mg/L	200 rpm	x	6.55	6.41	Alumbre 99.30%	83,66%	si
[25]	Extracción de pulpa, troceado, triturado, tamizado, y extracción de pigmentos y secado.	si	si	90 mg/L	30 minutos	x	7.1	7.5	x	85,20%	si
[14]	Cortado, secado, triturado, tamizado y secado.	si	si	100 mg/L	120rpm	x	7.41	No altera	Moringa Oleifera 96.8%, A. indica 66.8%, Z Mays 45%	62,00%	no

[18]	Los cladodios de nopal se rebanaron, lavaron y secaron a 100 °C durante 2 h y finalmente los cladodios secos se pulverizaron y tamizaron	si	si	10 mg/L	200 rpm	x	x	x	Al ₂ (SO ₄) 98.65%, FeCl ₃ 98.26%	85,00%	si
[40]	Extracción, cortado, se agregaron 2 litros de agua destilada y luego se hirvieron, tamizado, precipitado, tamizado y secado.	si	si	30 ppm	200 rpm	x	7.8	7-8	Alumbre + cactus 89.8%	87,90%	si
[11]	Recolección, Reducción, Secado, Molienda, Tamizado y Almacenamiento.	si	si	1625 mg/L	100 rpm	x	9.87	08.01	x	88,19%	si
[41]	Cortado, secado, molienda y tamizado.	si	si	0.2g/500ml	100 rpm	x	5.5	5.5	Cicer aretinum 81.20%, M. Oleifera 82.02%	78,54%	si
[42]	Lavado, extracción del mucílago, secado y molienda.	si	si	40 g/ml	150 rpm	x	7.4	7	M. Oleifera 62.36 %, Aloe Vera 51.72%	50,50%	no
[16]	Cortado, Secado, Molienda y Tamizado.	si	si	20 mg/L	100 rpm	x	x	x	semillas de Dolichos lablab 68%	89,03%	si
[17]	Pelado, macerado, secado, molienda y tamizado	si	si	1976,3 mg/L	125 rpm	x	8.1	7.9	x	99,50%	si
[43]	x	si	si	40 mg/L	120 rpm	x	x	7.75	Caesalpinia spinosa 55,78 % y Sulfato de Aluminio 91,60 %	59,42%	no
[44]	Recolección, pelado, secado y molienda.	si	si	3.5mg/L	100 rpm	x	x	x	x	97,00%	si
[45]	Pelado, enjuague, cortado, cristalizado, luego paso a una estufa a 100 °C durante 2 horas y por último almacenado.	si	si	0.3 mg	150 rpm	x	8.25	8	x	99,53%	si

Nota: Las x en la tabla significan que el artículo no cuenta con dicha información

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A. Discusión

La presente revisión sistemática identificó la importancia del coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* en la remoción de turbidez en aguas a nivel mundial. Se encontró un total de 45

artículos equivalentes al 90% y 5 tesis que corresponden al 10% del total, de los cuales en la selección de datos fueron 29 los artículos incluidos y 5 de tesis que respondieron al objetivo de investigación y pasaron los criterios (rango de años del 2012 al 2022, asimismo se tomó en cuenta dos idiomas: español e inglés, con respecto a la calidad de la revista esta

debe ser indexada teniendo una base de datos confiables, el lugar de estudio de las investigaciones obtenidas debe ser a nivel mundial y tener acceso libre al documento).

En base a las características de los estudios se pudo visualizar que el mayor porcentaje de artículos seleccionados fue hallado en la base de datos de Researchgate con un 18% y la menor fuente contó con el 2% en tesis y Google Academic, Iwaponline, CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, y Algerian Journal of Engineering Research. Así mismo el país con más estudios es Colombia contando con 11 artículos que equivalen al 22% y los países con menos estudios representando el 2% son Ecuador, Brasil, República de Berlín, Bolivia, Algeria, Irak, Tunisia, Pakistán y Cairo. Por otro lado, los dos años en los que más se han estudiado el tema es en el 2018 contando con 8 artículos siendo el 16% en total seguido del 2019 y 2020 con el 12% con 6 publicaciones cada año respectivamente, y finalmente se tiene los años con menor publicaciones siendo el 2016 y 2022, cada año con 2 publicaciones, representando el 4%.

En relación con la pregunta de investigación de este estudio se logró llegar a una respuesta favorecedora, teniendo el mayor porcentaje de remoción de turbidez encontrado [23] una reducción del 99.56%; el estudio se basó en demostrar el alcance del coagulante con la adición de volúmenes de biofloculante llegando a un valor máximo de 0.08 mL y sin afectar el pH de la muestra, lo que da como resultado un poder óptimo del uso de la *Opuntia Ficus-Indica*. Por otro lado, [17] alcanzó en su investigación una remoción del 99.5 % con una dosis del coagulante de 1976,3 mg/L a una velocidad de 30 rpm a una alta turbidez inicial de la muestra de 2799.1 NTU. Contrario a lo expuesto los autores [24] tuvieron el menor resultado en la remoción de turbidez del 50.5% con una dosis óptima de 40 g/mL; se debe a que el agua sintética tratada estuvo altamente turbia, por lo que se tuvo que usar una dosis alta del coagulante, lo que aumenta la carga biológica y química del agua disminuyendo el % de remoción de turbidez.

En cuanto a la influencia de la dosis del coagulante se tiene dos ideas opuestas. Por un lado, [25] comenta que a mayor concentración mejor reducción de turbidez; en su estudio comparó tres dosis 20 mg/L, 60 mg/L y 90mg/L dando como resultados 12.3, 12.1 y 10.7 NTU, respectivamente, notando la diferencia en sus resultados. Desde otro punto de vista [26] menciona que usar una cantidad mayor a 50 mg/L de la *Opuntia Ficus-Indica* no tiene relevancia, debido a que no hay una afectación en la turbidez por un aumento de dosis esto en relación al resultado experimental obtenido en donde no tuvo un efecto significativo.

Por otra parte, se presentan comparaciones del coagulante sintético con el natural, en donde el primero tiene un mejor resultado. El sulfato de aluminio obtuvo un mejor resultado en la remoción de turbidez del (99.80%) teniendo efectos secundarios como el aumento de sólidos disueltos y lodos tóxicos y la remoción menor la obtuvo el coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* (93.25%), eso no quita que se encuentra

en un rango alto de porcentaje de remoción demostrando su eficacia [27].

B. Conclusiones

El presente trabajo basado en la revisión sistemática cumplió con la pregunta de investigación planteada: ¿Cuál es la importancia del coagulante natural *Opuntia Ficus-Indica* para la remoción de turbidez en aguas a nivel mundial de acuerdo a las revistas de investigación de la base de datos de los últimos diez años? Se obtuvo valores óptimos en la remoción de turbidez en la mayoría de los artículos encontrados, contando con 29 estudios que superan o son iguales al 70 %, y solo 5 estudios fueron menores; el mayor valor de reducción de turbidez fue de 99.56% seguido de 99.5%, en cuanto al menor valor es de 50.5%. Se aprecia la importancia de la *Opuntia Ficus-Indica* en la remoción de turbidez obteniendo resultados eficaces, además de no alterar significativamente el pH, no generar lodos tóxicos, se encuentra en varias partes de los países que posean un clima de árido a muy árido pues al ser una planta silvestre, no son dañinos para la salud y se compara en eficiencia a los convencionales coagulantes sintéticos.

Se consideraron ciertas limitaciones del estudio, en cuanto a la cantidad de información de la cual sería más factible extraer mayores referencias. Si bien se encontraron artículos en las bases de datos nacionales como ScienceDirect, Scopus, no hubo gran cantidad por no cumplir con el objetivo de la investigación y fueron descartados en la selección de datos. Por otra parte, la falta de entendimiento de idiomas extranjeros dificultó la traducción de los artículos, ya que del 85% fueron 12 pasados al traductor. También supuso un impedimento los accesos privados en ciertas fuentes, limitando la información requerida.

Para finalizar, se recomienda realizar mayores investigaciones con la *Opuntia Ficus-Indica*, puesto que al ser una planta silvestre se aprovecha en una reducción de los costos, en su baja toxicidad y en ser biodegradables. Además, se busca que se conozca más acerca de adoptar las tecnologías verdes por su viabilidad, por lo que el profundizar en este tema de investigación es beneficioso y busca promover a más investigadores a empaparse de alternativas prometedoras como lo es esta planta.

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores de la universidad por los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra carrera universitaria, a nuestros padres por la constante motivación y confianza en nosotras, gracias.

REFERENCIA

- [1] García Fayos, 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 Máster, Universidad Politécnica de Valencia]
- [2] Guzmán, L., Universidad de Cartagena, Villabona, Á., Tejada, C., García, R., Universidad de Cartagena, Universidad de Cartagena, & Servicio Nacional de Aprendizaje. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista Udca Actualidad &*

- Divulgación Científica*, 16(1), 253–262. <https://doi.org/10.31910/ruca.v16.n1.2013.881>
- [3] González, G., Chávez, M., Mejías, D., Mas y Rubí, M., Fernández, N., & León de Pinto, G. (2006). Use of exudated gum produced by *Samanea saman* in the potabilization of the water. *Revista Técnica*, 29(1), 14–22. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702006000100003
- [4] Benjumea-Hoyos, C. A., Toro Martínez, M., & Luna Marin, V. (2021). Evaluación de la eficiencia de extractos naturales en el proceso de coagulación floculación de aguas crudas, con fines de potabilización. *Bionatura*, 6(2), 1770–1777. <https://doi.org/10.21931/rb/2021.06.02.17>
- [5] Olivero Verbe, R. E., Aguas Mendoza, Y. del R., Mercado Martínez, I. D., Casas Camargo, D. P., & Montes Gazabón, L. E. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación en Ingeniería*, 11(1), 70–75. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>
- [6] Ramírez Arcila, H., & Jaramillo Peralta, J. (2016). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- [7] UNICEF (2016). El cambio climático y la falta de saneamiento amenazan la seguridad del agua para millones, según UNICEF. <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/el-cambio-clim%C3%A1tico-y-la-falta-de-saneamiento-amenazan-la-seguridad-del-agua>
- [8] Organización Mundial de la Salud (2015). Agua potable gestionada de forma segura: La Agenda 2030 para el agua potable. <https://washdata.org/report/jmp-2017-tr-smdw-es>
- [9] Gautam, S., & Saini, G. (2020). Use of natural coagulants for industrial wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 6(4), 553 – 578. 10.22034/gjesm.2020.04.10
- [10] Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262(121267), 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- [11] Jaco, E., Gómez, W., Loroña, F., Zamora, N., & Huamana, N. (2022). Efficiency of *Opuntia ficus indica* as a coagulant for gray wastewater treatment and its application in a pilot system. *Ingeniería del agua*, 26(3), 157–171. <https://doi.org/10.4995/ia.2022.17478>
- [12] Barreto Pardo, S., Vargas Moncada, D. K., Ruiz Martínez, L. E., y Gómez Ayala, S. L. (2020). Evaluación de coagulantes Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(1), 7. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7319508>
- [13] Almeida, C. A., De Souza, M. T. F., Freitas, T. K. F. S., Ambrósio, E., Geraldino, H. C. L., & Garcia, J. C. (2016). Vegetable residue of Chayote (*Sechium edule* SW.) as a natural coagulant for treatment of textile wastewater. *International Journal of Energy and Water Resources (IJWR)*, 1(1): 37–46. https://ijewr.srbiau.ac.ir/article_10017_1f5cafe3903aaff828d7965095236f83.pdf
- [14] Aguirre, S. E., Piraneque N. V., & Cruz R. K. (2018). Sustancias naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información tecnológica*, 29(3), 59–70. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>
- [15] Martínez García, J., Villabona Ortiz, Á., & Paz Astudillo, I. C. (2013). Caracterización de la *Opuntia Ficus-Indica* para su uso como coagulante natural. *Revista colombiana de biotecnología*, XV (1), 137–144. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77628609014>
- [16] Shilpaa, B. S., Akankshaa, Kavita, & Girishb, P. (2012). Evaluation of Cactus and Hyacinth Bean Peels as Natural Coagulants. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, 3(3). https://www.researchgate.net/profile/Girish-Papegowda/publication/343065935_Evaluation_of_Cactus_and_Hyacinth_Bean_Peels_as_Natural_Coagulants/links/5f158026a6fdcc3ed718bbb8/Evaluation-of-Cactus-and-Hyacinth-Bean-Peels-as-Natural-Coagulants.pdf
- [17] Vidal-Tovar, C. R., Moscote-Vides, E. M., Vides-Redondo, A. J., & Severiche-Sierra, C. A. (2020). Evaluation of the coagulating power of the *Opuntia Ficus-Indica* for removal of turbidity in waters of the Guatapurí River (Colombian Caribbean). *IOP conference series. Materials science and engineering*, 844(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/844/1/012003>
- [18] El Bouaidia, W., Essalhia, S., Doumab, M., Tazarta, Z., Ounasc, A., Enaïme, G., & Aacoubic, A. & Loudiki, M. (2020). Evaluation of the potentiality of Vicia faba and *Opuntia Ficus-Indica* as eco-friendly coagulants to mitigate *Microcystis aeruginosa* blooms. *Desalination and Water Treatment*, 196, 198–213. doi: 10.5004/dwt.2020.26040
- [19] Pérez, M. L. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia Ficus-Indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3541/lopez-perez-malena.pdf?sequence=1&isAllowed=&>
- [20] Vishalia, S., & Karthikeyan, R. (2014). Cactus opuntia (*Ficus-Indica*): an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent. *Desalination and Water Treatment*, 56, 1489–1497. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.945487>
- [21] Deshmukh, S. (2019). Wastewater Treatment Using Bio-Coagulant as Cactus *Opuntia Ficus-Indica*. 2nd International Conference on New Frontiers in Chemical, Energy and Environmental Engineering (INCEEE - 2019). 10.13140/RG.2.2.28932.99202
- [22] Quino Quispe, P. D. (2020). Evaluación de aguas residuales bajo el tratamiento a diferentes temperaturas de coagulación- floculación con semillas de Durazno (*Prunus pérsica*), Tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) & cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) del río Jilusa & a. *Revistas Bolivianas*, 6(1), 1839–1852.
- [23] Amira, A., Ali, A., & Omar, B. (2017). Synthesis and application of a new biomaterial based on *Opuntia Ficus-Indica* (cactus) in water treatment. *Algerian Journal of Engineering Research*, 1. <http://ajer.univ-constantine3.dz/wp-content/uploads/2018/03/AJER-01-02-2017-.pdf>
- [24] Muruganandam, L., Saravana Kumar, M. P., Amarjit, J., Sudiv, G., & Godhwani, B. (2017). Treatment of waste water by coagulation and flocculation using biomaterials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263(3). doi:10.1088/1757-899X/263/3/032006
- [25] Angulo Altamirano, E. D., YaYa Lévano, J. E. R., & Coaquira Yapu, M. A. (2020). Uso de la "*Opuntia Ficus-Indica* ", como agente natural para el tratamiento de aguas, a nivel de laboratorio. *UMA. UNAJ – Institucional*, 2(4), 57–64.
- [26] G Lassoued, B. M., Djobbi, B., & R, B. H. (2018). Influence of Operating Factors on Turbidity Removal of Water Surface by Natural Coagulant Indigenous to Tunisia Using Experimental Design. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 40(5), 285–290. <https://doi.org/10.3103/S1063455X18050065>
- [27] Gazabón, L. E. M., Verbel, R. E. O., & Martínez, I. D. M. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia Ficus-Indica*. *Producción + Limpia*, 8(1), 19–27. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5012118>
- [28] Choque Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Ramos-Pacheco, B. S., Solano-Re&noso, A. M., Choque-Quispe, Y., Peralta-Guevara, D. E., & Quispe-Quispe, Y. (2020). Optimization of the flocculating capacity of natural coagulants in water treatment. *Dyna*, 87(212), 90–95. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n212.80467>
- [29] Raúl, M., Raúl Chuiza-Rojas, M., Calderón, S. H., Vargas-Escobar, J. A., Fernanda Borja-Mayorga, D., & Rennola-Alarcón, L. (2019). Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (*Opuntia Ficus-Indica*). *Ciencia e Ingeniería*, 40(3). <https://www.redalyc.org/journal/5075/507567854003/507567854003.pdf>
- [30] Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, &., Solano-Reynoso, A. M., & Ramos-Pacheco, B. S. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2). <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4455/445558422008/445558422008.pdf>
- [31] Dávila Paredes, C. M., Huamán Carranza, M. M., Flores Alborno, J. I., Polo Salazar, R. A., & Araujo Jamanca, N. F. (2019). Efectividad de especies naturales como ayudantes de Coagulación, para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos & centros poblados de Huaraz & Callejón de Huaylas. *APORTE SANTIAGUINO*, 11(2), 299. <https://doi.org/10.32911/as.2018.v11.n2.583>

- [32] Gabino, R. (2018). Opuntia Ficus-Indica como coagulante para remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de beneficio en avícola La Chacra. [Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental, Huancayo, Perú.]
- [33] Díaz, B. J. M. (2017). Utilización del mucílago de tuna (Opuntia Ficus-Indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir grande, provincia del Carchi [Universidad Técnica Del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6621/1/PG%20496%20TESIS.pdf>
- [34] Cuadros Pulido, L. M. C. (2020). Evaluación de la Remoción de la Turbidez del Agua del Río Fucha por Medio del Fruto de la Planta Arbustiva Cactus (Opuntia Ficus-Indica) como Coagulante Natural [Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD]. https://repositorio.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/34251/1/mcuadros_pulido.pdf?sequence=1&isAllowed=&
- [35] Celina, M. P. S. (2016). Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia Ficus-Indica, Aloe vera & Caesalpinia spinosa [Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6854/moreno_ps.pdf?sequence=1&isAllowed=&
- [36] De Souza, M. T. F., de Almeida, E. A. Y. C. A., de Souza Freitas, T. K. F., Santos, L. B., de Cinque Almeida, V., & Garcia, J. C. (2014). The use of a natural coagulant (*Opuntia Ficus-Indica*) in the removal for organic materials of textile effluents. *Environ Monit Assess*, 186, 5261–5271.
- [37] Wan, J., Chakraborty, T., Xu, C., & Ray, M. (2019). Treatment train for tailings pond water using *Opuntia Ficus-Indica* as coagulant. *Separation and purification technology*, 211, 448-455. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.083>
- [38] Raúl, M., Raúl Chuiza-Rojas, M., Calderón, S. H., Vargas-Escobar, J. A., Fernanda Borja-Mayorga, D., & Rennola-Alarcón, L. (2019). Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (*Opuntia Ficus-Indica*). *Ciencia e Ingeniería*, 40(3). <https://www.redalyc.org/journal/5075/507567854003/507567854003.pdf>
- [39] Bouaouine, O., Bourven, I., Khalil, F., & Baudu, M. (2018). Identification of functional groups of *Opuntia Ficus-Indica* involved in coagulation process after its active part extraction. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(11), 11111–11119. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1394-7>
- [40] Al-aubadi, I. M., & Hashim, L. Q. (2015). Application of Cactus Cladodes Mucilage (*Opuntia Ficus-Indica*) as an Eco-Friendly & Natural Coagulant and Flocculent Aid with Alum for Potable Water Treatment. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6(8), 589-593. DOI: 10.21275/28071705
- [41] Kazi, T., & Virupakshi, A. (2013). Treatment of Tannery Wastewater Using Natural Coagulants. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*, 2(8), 4061-4068.
- [42] Muruganandam, L., Saravana Kumar, M. P., Amarjit, J., Sudiv, G., & Godhwani, B. (2017). Treatment of waste water by coagulation and flocculation using biomaterials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 263(3). doi:10.1088/1757-899X/263/3/032006
- [43] Vargas Solano, S. V., Rodríguez Gonzalez, F., Martínez Velarde, R., Morales Gracia, S. S., & Jonathan, M. P. (2022). Removal of heavy metals present in water from the yautepec River Morelos México, using *Opuntia Ficus-Indica* mucilage. *Environmental Advances*, 7, 100160. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100160>
- [44] Mohammed, A. Y. A., Bady, Z. A. M., Fahmy, A. M., & Ahmed, A. M. M. (2020). Investigation of the potential of *Opuntia Ficus-Indica* powder for sewage treatment. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 10(10). <https://doi.org/10.29322/IJSRP.X.X.2018.pXXXX>
- [45] Amira, A., Ali, A., & Omar, B. (2017). Synthesis and application of a new biomaterial based on *Opuntia Ficus-Indica* (cactus) in water treatment. *Algerian Journal of Engineering Research*, 1. <http://ajer.univ-constantine3.dz/wp-content/uploads/2018/03/AJER-01-02-2017-.pdf>