



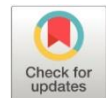


Obtención de un coagulante natural a partir de la hoja de opuntia ficus indica (tuna) para el tratamiento de aguas residuales

Obtaining a natural coagulant from the opuntia ficus indica (prickly pear) leaf for wastewater treatment

- ¹ Saul David Valdez Rosales  <https://orcid.org/0000-0001-6129-5170>
Maestría en Ingeniería Química, Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Esmeraldas, Ecuador.
saul.valdez@utelvt.edu.ec
- ² Wilson Patricio León Cueva  <https://orcid.org/0000-0002-5474-430X>
Maestría en Ingeniería Química, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
wleon@utmachala.edu.ec
- ³ Delly Maribel San Martín Torres  <https://orcid.org/0000-0002-4680-4042>
Maestría en Química, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
dsanmartin@utmachala.edu.ec
- ⁴ Ricardo Valentín León Cueva  <https://orcid.org/0000-0001-7104-2492>
Maestría en Química, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
rleon@utmachala.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 09/12/2022

Revisado: 11/01/2023

Aceptado: 02/02/2023

Publicado: 14/03/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i1.3.2509>

Cítese:

Valdez Rosales, S. D., León Cueva, W. P., San Martín Torres, D. M., & León Cueva, R. V. (2023). Obtención de un coagulante natural a partir de la hoja de opuntia ficus indica (tuna) para el tratamiento de aguas residuales. *ConcienciaDigital*, 6(1.3), 39-51. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i1.3.2509>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, trimestral, que se publicará en soporte electrónico tiene como misión contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras**claves:**

efluentes,
tratamiento,
coagulantes,
naturales, tuna,
remoción.

Keywords:

effluents,
treatment,
coagulants,
natural, prickly
pear, removal.

Resumen

Introducción: las permanentes descargas de efluentes sin tratamiento previo han aumentado de manera considerable en los últimos años propiciando la pérdida de la calidad de los recursos hídricos lo que hace factible el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas para lo cual se utilizan productos químicos los cuales son dañinos para la salud por tal motivo se propone reemplazarlos en gran parte por agentes naturales derivados de productos vegetales que tengan un comportamiento similar o mejor a los mismos. **Objetivo:** Obtener un coagulante natural a partir de la hoja de *Opuntia ficus indica* (Tuna) mediante varias operaciones unitarias para el tratamiento de aguas residuales. **Metodología:** El coagulante natural descrito se obtiene a través de diferentes operaciones unitarias tales como: secado, molienda, tamizado y extracción sólido-líquido. **Resultados:** Se consiguieron muy buenos porcentajes de remoción como DQO 78,12 %, DBO5 58 %, Nitrógeno Total 89,06 %, Coliformes Fecales 100%, Coliformes Totales 100% y Turbidez 85,47 % evidenciando que el tratamiento es viable. **Conclusión:** Se comprobó que mediante la utilización de un coagulante natural extraído de la hoja de *Opuntia ficus indica* (tuna) se puede lograr porcentajes de remoción similares a los obtenidos por productos químicos convencionales atenuando considerablemente el nivel de contaminación en el producto final de dicho proceso. **Área de estudio:** Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental.

Abstract

Introduction: The permanent discharges of effluents without prior treatment have increased in recent years, causing the loss of the quality of water resources, which makes it feasible to develop water treatment systems for which harmful chemical products are used. for health, for this reason, it is proposed to replace them largely by natural agents derived from plant products that have a similar or better behavior to them. **Objective.** Obtain a natural coagulant from the *Opuntia ficus indica* (Prickly Pear) leaf through several unit operations for wastewater treatment. **Methodology:** The described natural coagulant is obtained through different unit operations such as: drying, grinding, sieving and solid-liquid extraction. **Results:** Very good removal percentages such as COD 78.12%, BOD5 58%, Total Nitrogen 89.06%, Fecal Coliforms 100%, Total Coliforms

100% and Turbidity 85.47% were achieved, evidencing that the treatment is viable. **Conclusion:** It was verified that by using a natural coagulant extracted from the *Opuntia ficus indica* (prickly pear) leaf, removal percentages similar to those obtained by conventional chemical products can be achieved, considerably attenuating the level of contamination in the final product of said process.

Introducción

Una de las problemáticas ambientales más frecuentes en los últimos años es sin lugar a duda la contaminación de los recursos hídricos esto como consecuencia de la actividad humana (Romero, 2000). La misma requiere de un trabajo apremiante a través de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas (Pires & Subirana, 2007).

El tratamiento de efluentes en los diferentes ámbitos que se ha aplicado ha mejorado la calidad de los recursos hídricos atenuando los impactos ambientales que son generados en todo el mundo (Valdez & Vásquez, 2003).

Para lo cual es muy común emplear coagulantes de procedencia química los mismos que son muy eficientes y tienen excelentes porcentajes de remoción de materias orgánicas y de más (Romero, 2005), pero el problema con estos es que generan una gran cantidad de aluminio residual el cual es tóxico y por ende perjudicial para la salud y el ecosistema (Noyola et al., 2013).

Los coagulantes naturales son sustancias solubles en agua (Pascual, 2016), derivados de materiales de procedencia vegetal o animal que intervienen de forma semejante a los coagulantes químicos, los mismos pueden tener rendimientos similares a los de origen sintético y son considerados amigables con el ecosistema debido a su biodegradabilidad y a su mínima o nula toxicidad (Vargas, 2004), además de que el tratamiento de los lodos que sean producidos en todo el proceso de tratamiento de aguas residuales sea menos costoso y complejo, utilizándolos como abono en el sector agrícola (Ramírez & Jaramillo, 2015). Convirtiéndolos en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental (García et al., 2006).

La *Opuntia ficus indica* es un captus muy reconocido a nivel mundial por sus diferentes aplicaciones en la industria, lo que hace muy importante su cultivo y explotación, Tuna es el nombre de este captus que se le da en diferentes países como: Perú, Chile, Argentina, México, Ecuador y Colombia a la planta científicamente designada *Opuntia ficus-indica*, derivada de la familia Cactaceae (Montoya, 2007). Con las características morfológicas

y fisiológicas que presenta este vegetal, puede resistir condiciones ambientales desde escasa precipitación hasta altas y bajas temperaturas (Guzmán & Chávez, 2007). Además, no requiere de mayores cuidados en su cultivo.

El mucílago de la tuna es el componente principal y más importante en el tratamiento de aguas residuales debido a su composición conservando diferentes estructuras polielectrolitas similares a la de los productos químicos convencionales como sulfato de aluminio, cloruro férrico, policloruro de aluminio, etc. Con el que se alcanza buenos porcentajes de remoción (Ramírez & Jaramillo, 2015).

Metodología

El coagulante natural descrito se obtiene a través de diferentes operaciones unitarias tales como: secado, molienda, tamizado y extracción sólido-líquido (Nabyarina, 2004).

Primeramente, se efectuó la selección de la materia prima de tal forma que se pueda comprobar que las hojas de *Opuntia Ficus Indica* (Tuna) estén en buenas condiciones (Vargas et al., 2016), se seleccionaron 6 hojas de esta con las siguientes longitudes: 30 cm de largo, 15 cm de ancho y 1,5 cm de espesor las cuales fueron sometidas a un proceso de lavado y pelado retirando la capa exterior (García, 2007).

Seguidamente se realizaron varios cortes finos de la pulpa obtenida de la tuna los cuales fueron ingresados al secador de bandejas del laboratorio de procesos industriales de la facultad, en el mismo se efectuó la operación de secado a una temperatura de 60° C durante 24 horas continuas (Olivero et al., 2014).

Como consecuencia de esta operación se obtuvo una notable pérdida de tamaño de los cortes ingresados inicialmente debido a la gran pérdida de humedad que se dio en dicho proceso (Rodríguez et al., 2006).

Figura 1

Secado de Opuntia Ficus Indica (Tuna)



Luego estos cortes fueron retirados del equipo y se trituraron a través del molino adquiriéndose un polvo de color amarillo.

Figura 2

Molienda de Opuntia Ficus Indica (Tuna)



El polvo obtenido se tamizó durante varios minutos en una serie de tamices Tyler normalizados con la finalidad de asegurar que las partículas empleadas en la siguiente operación conserven un diámetro de partícula menor a 0.5 mm de tal forma que se pueda favorecer la extracción de pigmentos (Olivero et al., 2014), como resultado de dicha operación se consiguió 37,36 g. de tuna.

Figura 3

Tamizado de Opuntia Ficus Indica (Tuna)



Los finos obtenidos se sometieron a una extracción de tipo soxhlet usando como solvente el etanol al 96% durante dos horas y medias con el objetivo de retirar toda la clorofila presente en los finos evitando así la coloración verdosa del agua en el proceso de coagulación y floculación.

Figura 4

Extracción soxhlet



Del coagulante natural obtenido se realizaron varias pruebas mediante la prueba de jarras de tal forma que se pueda encontrar la dosis ideal, en donde se usaron diferentes concentraciones de Tuna como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 1

Pruebas de tratabilidad - TURBIEDAD 179 NTU 200 rpm

Conc. (mg/L)	TUNA (mL)	Dosis (mL)	TURBIEDAD Final (NTU)	% Remoción
0,01	2,5		65	63,69
0,01	3		38	78,77
0,01	3,5		26	85,47
0,01	4		44	75,42
0,01	4,5		79	55,87
0,05	2,5		97	45,81
0,05	3		80	55,31
0,05	3,5		67,8	62,12
0,05	4		60,1	66,42
0,05	4,5		54	69,83

Tabla 1

Pruebas de tratabilidad - TURBIEDAD 179 NTU 200 rpm (continuación)

Conc. (mg/L)	TUNA (mL)	Dosis (mL)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,1	2,5		112,1	37,37
0,1	3		117	34,64
0,1	3,5		132,5	25,98
0,1	4		135	24,58
0,1	4,5		137,4	23,24

Fuente: Ramírez & Jaramillo (2016)

Figura 5

Opuntia ficus indica a diferentes concentraciones



Resultados y Discusión

De acuerdo con la experimentación se determinó una dosis óptima de 3,5 ml de solución de *Opuntia ficus indica* (Tuna) a una concentración de 0,01 mg/l para el tratamiento de aguas residuales en donde se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 2

Resultados del tratamiento

Determinaciones	Unidades	Agua Cruda	T. Tuna	**Límites
pH	-	7,87	7,35	6-9
Color	Co/Pt	810	409	-
Turbiedad	NTU	179	32	-
Temperatura	°C	24	20	-
Conductividad	μSiems/cm	905	735	-

Tabla 2
Resultados del tratamiento (continuación)

Determinaciones	Unidades	Agua Cruda	T. Tuna	**Límites
Aceites y Grasas	mg/L	12	10	30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	448	277	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	150	98	100
Fosfatos	mg/L	7,92	5,49	10
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	64	35	50
Sulfatos	mg/L	262	148	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	460	389	-
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	101	15	130
Sólidos Sedimentables	mg/L	500	200	
Sólidos Totales	mg/L	1385	431	1600
Coliformes Fecales	UFC/100mL	170000	1520	2000
Coliformes Totales	UFC/100mL	280000	1700	2000

Fuente: ** Ministerio del Ambiente Ecuador (2003)

Nota: 097-A TULSMA. Tabla 9 Límites de descarga a cuerpo de agua

Tabla 3
Porcentaje de remoción

Parámetro	Porcentaje Removido (%)
DQO	78,12
DBO ₅	58
Nitrógeno Total	89,06
Coliformes Fecales	100

Fuente: Ministerio del Ambiente Ecuador (2003)

Uno de los puntos fundamentales de este proyecto fue tratar estas aguas con un coagulante natural extraído a partir de la planta de *Opuntia ficus indica* (TUNA) reemplazando en

gran mayoría a los agentes químicos de tal manera que se logre disminuir los contaminantes en el producto final del tratamiento.

La dosis ideal con la que se alcanzó el máximo porcentaje de remoción fue de 3,5 ml de solución de tuna con una concentración de 0,01 mg/l a una velocidad de agitación de 200 rpm, con lo que se adquirieron resultados favorables, cumpliendo con la Normativa expuesta por el TULSMA, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 98 mg/L, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) 63 mg/L, Nitrógeno Total 7 mg/L, y ausencia de Coliformes Fecales y Totales Que eran los parámetros que estaban fuera de norma (Ver Tabla 2-1).

El menor porcentaje de remoción fue el de la Demanda Química de Oxígeno

Los porcentajes de remoción alcanzados después del tratamiento son los siguientes: DQO 78,12 %, DBO5 58 %, Nitrógeno Total 89,06 %, Coliformes Fecales 100%, Coliformes Totales 100% y Turbidez 85,47 % obteniéndose un ventajoso barrido con el coagulante natural, lo que lo hace factible dentro de todo el proceso.

De acuerdo a lo descrito anteriormente se puede notar que a pesar de que se obtienen altos porcentajes de remoción empleando el coagulante natural extraído de la hoja de Opuntia ficus indica (tuna) siendo factible técnicamente sin embargo en cuantos a costos resultan más elevados por los diferentes procesos de obtención de los mismos pero esto es justificable desde el punto de vista ambiental ya que los productos químicos convencionales causan danos irreparables al medio, además de indicar mayores costos o inversión a corto plazo para las empresas, genera un ahorro significativo a largo plazo en cuanto a medidas de remediación que tendrían que aplicar en caso de reparar danos causados por estos productos químicos.

Conclusiones

- La aplicación de diferentes operaciones unitarias como como secado, molienda y tamizado, extracción sólida – líquido permitió obtener un coagulante natural extraído de la hoja de Opuntia ficus indica (tuna) con el cual se llevó a cabo el proceso de tratamiento de aguas residuales.
- De acuerdo con los valores adquiridos en la caracterización inicial física, química y biológica se puede conocer la relación entre el DBO5 y DQO dando como resultado una biodegradabilidad media, lo que hace factible el uso de un método natural para el respectivo tratamiento de aguas residuales del sector.
- La tratabilidad del agua se llevó a cabo mediante el empleo de un coagulante natural obtenido a partir de la hoja de Opuntia ficus indica (TUNA), en donde se hizo una solución del mismo y se efectuaron varias pruebas a diferentes concentraciones: 0,01; 0,05 y 0,1 mg/L con la finalidad de encontrar la dosis

ideal para el tratamiento adecuado cuya dosis óptima es de 3,5 ml a 0,01 de concentración más 0,1 ml de PAC a 0,1 mg/L de concentración como ayudante logrando estabilizar los parámetros que estaban fuera de límite de acuerdo a la normativa TULSMA.

- Se comprobó que mediante la utilización de un coagulante natural extraído de la hoja de *Opuntia ficus indica* (tuna) se puede lograr porcentajes de remoción similares a los obtenidos por productos químicos convencionales atenuando considerablemente el nivel de contaminación en el producto final de dicho proceso.

Conflictos de interés

- Los autores del presente artículo científico manifiestan que no poseen ningún tipo de conflicto de interés en relación con la presente investigación.

Referencias Bibliográficas

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*. [Investigación, Universidad Politécnica de Valencia]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesi%20de%20Master_BEATRIZ%20GARCIA%20FAYOS.pdf?sequence=1

García, I., Betancort, J., Salas, J., Peñate, B., Pidre, J., & Nieves, M. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes* (1a ed., Vol. 1). Icrew. <https://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>

Guzmán, D., & Chávez, J. (2007, marzo 15). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia Ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de la sociedad química del Perú*, 2–4. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000100005

Ministerio del Ambiente Ecuador. (2003). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (Tulsma)* (pp. 220–256). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

Montoya, S. (2007). *Industrialización de la yuca. Obtención de almidón nativo y sus aplicaciones*. (J. Ramírez, Ed.; 1a ed.). Universidad del Valle. https://www.academia.edu/35293438/INDUSTRIALIZACION_DE_LA_YUCA_Obtencion_de_almidon_nativo_y_sus_aplicaciones

- Nabyarina Almendárez de Quezada. (2004, marzo 1). Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua “Piedras Azules. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 2–5. <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/08/2004-almendarez.pdf>
- Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales* (R. Pérez, Ed.; 1a ed., Vol. 1). Universidad Nacional Autónoma México. http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf
- Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D., & Montes, L. (2014, junio 10). Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 3–4. <file:///C:/Users/saulv/Downloads/Dialnet-UtilizacionDeTunaOpuntiaFicusindicaComoCoagulanteN-6684755.pdf>
- Pascual, M. (2016). *Agua y sostenibilidad en los procesos productivos de cuencas deficitarias: Cátedra del agua y de la sostenibilidad*. (1a ed., Vol. 1). Universidad de Murcia. <https://www.um.es/web/catedradelagua/contenido/actividades/jornada-agua-y-sostenibilidad>
- Pires, A., & Subirana, A. (2007). *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas* (J. Morató & G. Peñuela, Eds.; 1a ed., Vol. 1). <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/manual-de-tecnologias-sostenibles-en-tratamiento-de-aguas>
- 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>
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Facultad de ciencias básicas*, 1, 4–5. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1303>
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales* (1a ed., Vol. 1). Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001696.pdf>
- Romero, J. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales* (J. Cañas, Ed.; 1a ed., Vol. 1). Escuela colombiana de ingeniería. https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas

- Romero Rojas, J. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales* (J. Cañas, Ed.; 1a ed., Vol. 1). Escuela Colombiana de Ingeniería. <https://es.scribd.com/document/368928843/Lagunas-de-Estabilizacion-Romero-2014>
- Valdez, E. C., & Vásquez, A. B. (2003). *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales* (1a ed., Vol. 1). Fundación ICA, A.C. https://www.academia.edu/31205529/Ingenier%C3%ADa_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposici%C3%B3n_de_aguas_residuales
- Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración*. (1a ed., Vol. 1). Cepis. <https://es.scribd.com/document/548404086/Ptap-Lidia-de-Vargas-Tomo-i#>
- Vargas, L., Arroyo, G., Herrera, C., Pérez, A., García, M., & Rodríguez, J. (2016, febrero 1). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*, 9–11. <https://www.redalyc.org/pdf/416/41648312002.pdf>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

