

EL MUCÍLAGO DE NOPAL: UN FLOCULANTE NATURAL PARA TRATAR AGUAS GRISES DEL HOGAR

NOPAL MUCILAGE: A NATURAL FLOCCULANT TO TREAT HOME GRAY WATER

RESUMEN

El tratamiento de aguas grises es un proceso que requiere la clarificación y disminución de las partículas sólidas presentes en la misma, por lo que se buscan alternativas amigables con el ambiente y de bajo costo para realizar este proceso. Una alternativa es aprovechar las propiedades floculantes del mucílago de nopal que clarifica al máximo las aguas residuales grises domésticas provenientes de lavadora, después de dos procesos de filtración. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar los parámetros de la calidad de agua gris antes y después del tratamiento con mucílago de nopal y filtros caseros. El tratamiento de aguas grises se realizó mediante la prueba de jarras, usando 150 ml de muestra para cada una de las cantidades de nopal crudo lavado y picado, se utilizaron 10, 20 y 30 gramos respectivamente. Posteriormente se agitaron durante 15 min a 100 rpm y se evaluaron los parámetros de pH, STD (ppm), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y % de salinidad en 3 momentos: antes de adicionar mucílago, después de filtración simple y posterior a la filtración con el carbón activado. Se identificó que al emplear 30 gramos de nopal y 2 filtraciones sencillas (1 con filtro común para cafetera y la otra usando algodón, gasa y carbón activado), se obtuvieron los mejores resultados de clarificación de las aguas grises: el pH de 9.7 disminuyó a 6.4, el STD de 3747 ppm pasó a 519 ppm, el % de salinidad que era de 0.38 se redujo a 0.05% y finalmente la conductividad eléctrica de 7585 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bajó hasta 1040 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en la muestra tratada se redujeron notablemente los parámetros medidos, así como su clarificación es evidente. El mucílago de nopal es una buena alternativa como floculante natural para eliminar partículas

ARELI GUERRERO
GALLEGOS

CRUZ ALEXA VÉLEZ LÓPEZ

EMMA B. HERRERA
RAMÍREZ

CLAUDIA B. GONZÁLEZ
RUIZ

Centro de Estudios
Tecnológicos Industrial y de
Servicios No. 48, Saltillo,
Coah.

Correspondencia
claudiabeatriz.gonzalez.ce48@
dgeti.sems.gob.mx

sólidas presentes en aguas grises, producto de aguas empleadas en lavado de ropa.

Palabras clave: aguas grises; mucílago de nopal; clarificación; tratamiento verde.

ABSTRACT

Gray water treatment is a process that requires clarification and reduction of the solid particles present in it, which is why environmentally friendly and low-cost alternatives are sought to carry out this process. An alternative is to take advantage of the flocculating properties of cactus mucilage that clarifies the domestic gray wastewater from washing machines to the maximum, after two filtration processes. The objective of this work was to evaluate the quality parameters of gray water before and after treatment with cactus mucilage and homemade filters. The gray water treatment was carried out using the jar test, using 150 ml of sample for each of the quantities of washed and chopped raw cactus, 10, 20 and 30 grams were used respectively. Subsequently, they were shaken for 15 min at 100 rpm and the parameters of pH, STD (ppm), electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) and % salinity were evaluated at 3 moments: before adding mucilage, after simple filtration and after the filtration with activated carbon. It was identified that by using 30 grams of cactus and 2 simple filtrations (1 with a common filter for a coffee maker and the other using cotton, gauze and activated carbon), the best results were obtained for clarifying gray water: the pH of 9.7 was reduced to 6.4, the STD from 3747 ppm changed to 519 ppm, the % salinity that was 0.38 was reduced to 0.05% and finally the electrical conductivity of 7585 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dropped to 1040 $\mu\text{S}/\text{cm}$, in the treated sample the measured parameters were significantly reduced, and their clarification is evident. Nopal mucilage is a good alternative as a natural flocculant to eliminate solid particles present in gray water, a product of water used in washing clothes.

Keywords: gray water; cactus mucilage; clarification; green treatment.

INTRODUCCIÓN

La contaminación y el uso irracional de los recursos hídricos

representan una de las mayores problemáticas en nuestro planeta. Según datos mostrados por la ONU-hábitat, el consumo aproximado diario de agua dulce por habitante es de casi 366 litros, de los cuales la mayoría son empleados en actividades de limpieza e higiene en casas habitación, tales como duchas y, específicamente en lavado de prendas (ONU Hábitat 2022). Este último factor es una de las principales causas de la contaminación de las fuentes de agua dulce, las cuales van a parar en alcantarillas y drenajes municipales.

El Informe de las Naciones Unidas en donde menciona datos importantes de los Recursos Hídricos (2021), indica que la mayor parte del agua dulce utilizada por la población es común que se reincorpore al medio ambiente, pero desafortunadamente con altos niveles de contaminantes presentes en el vital líquido (Hídricos, 2021). Este tipo de impurezas incluyen: sólidos suspendidos totales, compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos, metales pesados, y materia orgánica en descomposición. Es por ello que, la ausencia de un tratamiento primario de estas aguas residuales, que suelen ser desechadas a través de los sistemas de desagüe público, puede generar impactos perjudiciales tanto en los ecosistemas como en la salud de las personas (Rivera y col., 2021).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGUAS RESIDUALES E INDUSTRIALES

Las aguas grises son residuos líquidos generados en actividades domésticas como el lavado de ropa en lavadoras, el uso de bañeras y la limpieza de utensilios de cocina, así como el aseo de pisos y patios en los hogares. Estas aguas contienen una elevada concentración de elementos derivados de los detergentes utilizados para la limpieza del hogar y de los productos de higiene personal (Domínguez y col., 2016; Sánchez y col., 2010). Para evaluar la calidad de las aguas tratadas, se consideran diversos parámetros físicos, entre los que destacan:

- Sólidos totales disueltos (TDS). Representan la concentración de partículas presentes en un medio líquido que quedan retenidas en un filtro con un diámetro de poro máximo de 1.5 micrómetros. Estas partículas suelen estar compuestas principalmente por sales inorgánicas. Para este parámetro de calidad, se utilizan las ppm (partes por millón) según las Normas Oficiales Mexicanas, Mexicana, N. O. (2021).

- pH. Se refiere a la concentración de iones hidrógeno, expresada como logaritmo negativo de su actividad, que determina el nivel de acidez o alcalinidad del agua. Según la Norma Oficial Mexicana (2021), para preservar los recursos hídricos y los ecosistemas terrestres y marinos, es fundamental mantener los valores de pH en un rango entre 6 y 8, evitando valores inferiores o superiores a este intervalo (Baquero y col., 2023).
- Conductividad Eléctrica (CE). Este parámetro está relacionado con la concentración de sales disueltas, compuestas principalmente por iones inorgánicos que facilitan la conducción de la corriente eléctrica, la cual se mide en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a temperatura ambiente de 25°C . (Solís-Castro y col., 2018).
- Porcentaje de salinidad (% Salinidad). Representa la cantidad de sales presentes en el agua, derivadas principalmente del uso de los productos químicos en procesos industriales como el lavado y teñido de textiles. Los compuestos predominantes incluyen NaCl (cloruro de sodio), junto con otros iones como carbonatos, fosfatos y sulfatos contenidos (Baquero y col., 2023).

PROBLEMÁTICA Y SOLUCIONES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Según datos de la CONAGUA (2015), en el 2014 el volumen de aguas residuales municipales en México alcanzo aproximadamente 7.2 mil hectómetros cúbicos al año, de los cuales solo 3. 51 mil hectómetros cúbicos fueron tratados. Actualmente, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en México emplean procesos como coagulación, floculación, filtración y oxidación para la remoción de turbidez, color y olor. Estos métodos, aunque eficientes en ciertos aspectos, presentan desventajas importantes. Por ejemplo, el uso de coagulantes como el AlCl_3 o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y floculantes basados poliacrilamida genera grandes cantidades de lodos tóxicos que pueden contribuir a la contaminación de los mantos acuíferos, lo que representa un riesgo significativo para los ecosistemas (Lichtfouse y col., 2019).

Este tipo de tratamientos, lejos de ser una solución sostenible,

comprometen el cumplimiento de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, particularmente el ODS 6, relacionado con la disponibilidad y gestión sustentable de nuestro líquido vital y un adecuado saneamiento que es un derecho de todas las personas. Al no cumplirse este objetivo, se afectan otros ODS como la reducción de la pobreza, la salud humana, la igualdad de género, la energía asequible y no contaminada, y las ciudades sostenibles, entre otros.

Ante este panorama, resulta imperativo implementar prácticas de gestión hídrica sostenible que sean accesibles, innovadoras y respetuosas con el medio ambiente. Una de las soluciones más prometedoras es el uso del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*), una cactácea endémica de México que crece en climas áridos y extremos. Su cultivo es sencillo y adaptable a diferentes regiones, como el estado de Coahuila, donde predominan los nopales forrajeros (Bacarrillo López, 2022).

El mucílago del nopal, una fibra dietética rica en polisacáridos posee propiedades hidrocoloides y polielectrolíticas que facilitan la gelificación y actúan como floculante natural al entrar en contacto con partículas sólidas de gran tamaño (Pérez Ramos y col., 2017). Además, su capacidad para retener agua y su consistencia viscosa lo hacen adecuado como conservante natural en productos alimenticios (Inglese y col., 2018).

Estudios recientes han demostrado que el mucílago de nopal puede clarificar aguas residuales de manera efectiva, ofreciendo una alternativa sostenible y económica. Por ejemplo, investigaciones del Instituto Tecnológico de Puebla reportaron que el mucílago de *Opuntia ficus-indica* tiene propiedades floculantes comparables al sulfato de aluminio comercial (Morales y col., 2013). Asimismo, un estudio de Pinto Guzmán (2017) evaluó la acción coagulante-floculante del nopal y la sábila en aguas residuales textiles, observando que el nopal mostró una mayor eficacia en la clarificación cuando se utilizó de forma individual.

En este último estudio, se trabajaron concentraciones de 100 a 500 gramos de mucílago en 200 ml de aguas residuales, logrando una dosis óptima de 10 ml de mucílago para 150 ml de muestra. Los resultados fueron positivos, destacando el potencial del nopal como

una solución sostenible para el tratamiento de aguas residuales en México.

Estos avances subrayan la necesidad de continuar explorando el uso del mucílago de nopal como una herramienta verde para la gestión de aguas residuales, contribuyendo al cumplimiento de los ODS y a una adecuada gestión del agua.

INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON MUCÍLAGO DE NOPAL Y ALOE VERA

Los trabajos de investigación biotecnológica han permitido ampliar el conocimiento sobre las propiedades flocculantes y coagulantes del mucílago de *Opuntia ficus-indica* (nopal/tuna) y *Aloe vera* (sábila). Una de las técnicas utilizadas para extraer el mucílago de nopal consiste en métodos mecánicos sin uso de solventes. Esta técnica incluye el lavado de pencas crudas, seguido de una molienda en licuadora industrial durante 5 minutos. Posteriormente, la mezcla obtenida se centrifuga para separar el bagazo (sólido) del jugo de nopal, el cual es refrigerado a 4 °C durante 24 horas para su uso posterior. Este método ha sido replicado exitosamente en estudios recientes (Bautista & Anderson, 2024).

El objetivo de la presente investigación es evaluar los parámetros físicos de calidad del agua gris, proveniente del lavado de ropa y limpieza doméstica, antes y después del tratamiento con mucílago de nopal y filtraciones caseras. Además, se busca determinar la dosis óptima de este flocculante natural mediante la técnica de prueba de jarras. Este procedimiento emplea arreglos simples en vasos de precipitado, en los cuales se varían los volúmenes de muestra, velocidades de agitación y concentraciones de flocculante. Estas pruebas permiten identificar las condiciones óptimas para formar un flocculante que mejore las características físicas del agua tratada a escala de laboratorio (Contreras Sanabria & Gutiérrez Mayta, 2015).

El enfoque principal es reducir parámetros como sólidos totales disueltos, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica y porcentaje de salinidad, ya que estos valores están directamente relacionados con la calidad de las aguas residuales domésticas. Este pretratamiento no solo contribuye a su posible reutilización y almacenamiento, sino que también representa una alternativa

sostenible para la gestión hídrica.

Reducir la sobreexplotación y el uso inmoderado de los recursos hídricos es fundamental para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas, esenciales para la vida de todos los seres vivos. Por ello, es indispensable valorar los beneficios de implementar alternativas verdes como el mucílago de nopal, que aportan ventajas significativas en términos económicos, sociales y ambientales.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar los parámetros de la calidad de agua gris antes y después del tratamiento con mucílago de nopal y filtros caseros.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Tabla 1 presenta un resumen de los materiales, equipos y precursores utilizados en el desarrollo de este trabajo, destacando los insumos necesarios para el tratamiento de aguas grises con mucílago de nopal, así como los instrumentos empleados para las mediciones y análisis de los parámetros evaluados.

Tabla 1. Materiales, equipos y precursores utilizados en el tratamiento de aguas grises con mucílago de nopal.

Materiales de Laboratorio	Equipos	Campo	Precursores/muestras
Vasos de precipitado 250 ml	Probador digital multiusos	Papel filtro para cafetera	2 pencas de nopal
Matraz Erlenmeyer de 250 ml	Balanza analítica	Gasa y algodón	Carbón activado
Embudos de vidrio para filtración rápida	Cámara fotográfica del celular	Cuchillo	500 ml de muestras de agua gris uso doméstico (lavadora)
Probeta graduada de 50 ml	Parrilla de calentamiento con agitador magnético	Recipiente de plástico	
Soportes universales con anillo		Tabla para picar	

Conos de sedimentación (filtro casero)			
Varilla de cristal			
Pipeta			
Guantes de látex			
Cubre bocas			
Guantes de asbesto			
Espátula			
Vidrio reloj			

ENSAYOS DE EXTRACCIÓN DE MUCÍLAGO Y TRATAMIENTO DE AGUA

Para este estudio, se seleccionaron pencas de nopal provenientes de una nopalería ubicada a unos 30 metros del plantel, en el Boulevard de la Sección 38 de la colonia Magisterio. La selección de las pencas se basó en su tamaño y longevidad, con medidas promedio de 20 a 30 cm de largo por 15 a 20 cm de ancho. Una vez recolectadas, las pencas fueron llevadas al laboratorio, donde se procedió a lavarlas y remover las espinas de manera manual, utilizando cuchillos y guantes para mayor seguridad. Posteriormente, se enjuagaron con agua del grifo y una pequeña cantidad de jabón, para finalmente enjuagarse con agua destilada para eliminar por completo cualquier tipo de impureza. Las pencas se cortaron en pequeños cuadros, y se pesaron tres muestras de 10, 20 y 30 gramos, utilizando una balanza analítica con un margen de error de ± 0.0001 g.

El tratamiento de las aguas grises se realizó mediante la técnica de prueba de jarras, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

1. Preparación de muestras: Se midieron 150 ml de agua gris con una probeta graduada, por triplicado, y se colocaron en vasos de precipitado. A cada vaso se agregó una de las muestras de nopal: 10 g (M1), 20 g (M2) y 30 g (M3). Un cuarto vaso, con 150 ml de agua gris sin nopal, fue etiquetado como M4 y utilizado como control. En este último se midieron los parámetros iniciales de pH, sólidos totales disueltos (STD, en ppm), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y porcentaje de salinidad, registrando estos datos como referencia inicial (Lectura A).
2. Tratamiento inicial: Cada muestra (M1, M2 y M3) se agitó manualmente durante 1 minuto con una varilla de cristal y

luego se colocó en una parrilla de agitación magnética a 100 rpm durante 15 minutos. Posteriormente, se realizó una primera filtración utilizando un embudo de filtración rápida y un filtro para cafetera común, con el objetivo de eliminar los restos de nopal y recuperar el líquido tratado. Los parámetros iniciales (pH, STD, conductividad y salinidad) fueron medidos nuevamente para evaluar los cambios después del primer tratamiento.

3. Segunda filtración: Una vez completada la primera filtración, las muestras se sometieron a un segundo proceso utilizando un filtro casero. Este filtro consistía en un cono de sedimentación con las siguientes capas:

- 10 gr de algodón y gasa de curación en el fondo.
- 4 gr de carbón activado cubiertos por otra capa de gasa en la parte central.
- capa final de 4 gr de algodón y gasa en la parte superior.

Este filtro casero se preparó por triplicado, y cada muestra filtrada en el primer proceso se pasó a través del filtro para eliminar impurezas adicionales.

4. Evaluación final: Se tomaron nuevas mediciones de pH, STD, conductividad eléctrica y porcentaje de salinidad con un probador digital multiusos, registrando los cambios observados después de cada filtración. Los resultados permitieron evaluar la eficacia del mucílago de nopal en la clarificación del agua gris y determinar los parámetros óptimos para el tratamiento.

La Figura 1 muestra un diagrama del procedimiento experimental detallado en esta metodología.

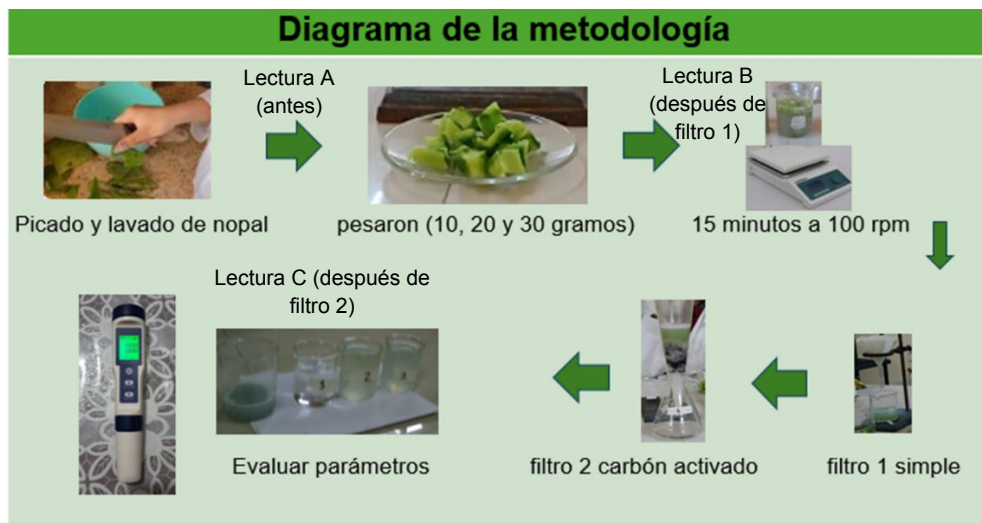


Figura 1. Diagrama de la metodología utilizada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2, mostrando que el tratamiento con 30 g de nopal picado y dos filtraciones consecutivas (una con un filtro común para cafetera y otra con un filtro casero compuesto de algodón, gasa y carbón activado) arrojó los mejores resultados en la clarificación de las aguas grises. Los parámetros evaluados en nuestro proyecto, muestran una mejora evidente al compararse la lectura inicial (M4) con la muestra a la que se le adicionaron los 30 gr de nopal.

- El pH inicial de 9.7 disminuyó a 6.4.
- Los sólidos totales disueltos (STD) se redujeron de 3747 ppm a 519 ppm.
- El porcentaje de salinidad pasó de 0.38 % a 0.05 %.
- La conductividad eléctrica se redujo de 7585 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1040 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Estos resultados evidencian una notable reducción de los valores medidos y una clarificación visualmente evidente del agua gris tratada con 30 gramos de nopal.

Tabla 2. Resultados de los parámetros físicos antes y después del uso de nopal y las 2 filtraciones caseras.

Nopal (gr)	Parámetros											
	Antes				Después del Filtro 1				Después del Filtro 2			
	pH	TDS (ppm)	EC (µc/cm)	% salinidad	pH	TDS (ppm)	EC (µc/cm)	% salinidad	pH	TDS (ppm)	EC (µc/cm)	% salinidad
10	9.7	3747	7585	0.38	9.7	3747	7517	0.38	8.4	2214	4446	0.22
20	9.7	3747	7585	0.38	9.6	3737	7410	0.38	7.4	961	1929	0.09
30	9.7	3747	7585	0.38	9.2	3700	7410	0.38	6.4	519	1040	0.05

En la Figura 2 se observa claramente el efecto del tratamiento con mucílago de nopal sobre las aguas grises. La imagen muestra el antes y después del proceso: la muestra de agua gris sin tratamiento (izquierda) presenta un color oscuro y turbio, mientras que la muestra tratada con 30 g de nopal picado y dos filtraciones caseras (derecha) exhibe un color mucho más claro y transparente. Este cambio evidencia la capacidad floculante y coagulante del mucílago de nopal para remover y precipitar partículas sólidas, facilitando la filtración y clarificación del agua.

El uso del mucílago de nopal se destaca como una alternativa natural, eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Este método no solo es sostenible, sino que también es accesible y fácil de implementar en entornos domésticos, ofreciendo una opción viable para reducir la contaminación hídrica.

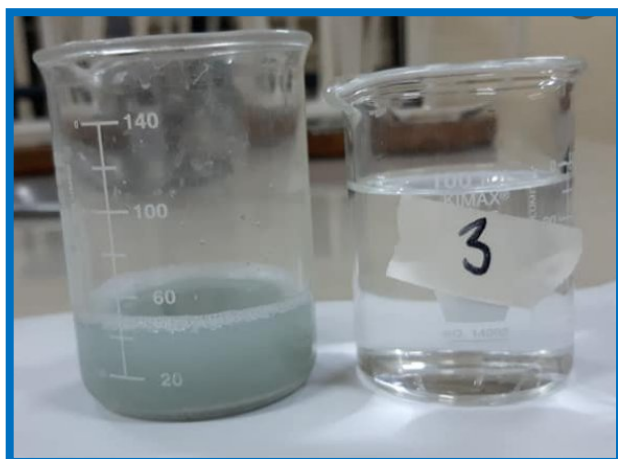


Figura 2. Muestra antes de tratamiento con mucílago de nopal

(izquierda) y muestra después de adicionar 30 g de cubos de nopal (mucílago) y las filtraciones realizadas.

CONCLUSIONES

El mucílago de nopal se perfila como una solución prometedora para el tratamiento de aguas grises, actuando como un floculante natural eficiente en la eliminación de partículas sólidas provenientes del lavado de ropa y otras actividades domésticas. La penca del nopal, al ser una planta endémica de México, puede cultivarse fácilmente en macetas o jardines, ofreciendo una opción económica y sencilla para el pretratamiento de aguas residuales en el hogar.

El agua clarificada mediante este proceso podría ser reutilizada para actividades como el lavado de ropa, la limpieza de patios y banquetas, o incluso como agua de riego para plantas y jardines, siempre y cuando cumpla con los parámetros óptimos para usos agrícolas. Este enfoque contribuye al desarrollo sostenible al proteger los recursos hídricos y evitar la pérdida de ecosistemas.

En conclusión, el uso del mucílago de nopal como floculante natural no solo proporciona una alternativa ecológica y práctica para el tratamiento de aguas grises, sino que también promueve el cuidado integral de los recursos hídricos, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y conservación ambiental.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro querido Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 48, así como a todos nuestros docentes, a nuestros compañeros de Laboratorio y, primordialmente, a nuestro Director del Cetís # 48, el Licenciado Adolfo Montañés Narro; finalmente a dos investigadores muy importantes, el Dr. Alejandro Lozano Morales y la Dra. Corazón Morales Amaya del CIQA.

REFERENCIAS

- Bacarrillo López, R. (2022). Tolerancia al estrés hídrico en tres variedades de nopal (*Opuntia* spp): crecimiento de planta y cladodios e indicadores fisiológicos, químicos y productividad de forraje (Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Chapingo).
- Baquero-Espinosa, L. D., Tafur-Salinas, J. C., Sánchez-Romero, E. G., & Botello-Suárez, W. A. (2023). Oxidación de fenton como alternativa de tratamiento de aguas grises de lavado: evaluación de su acercamiento verde. *Pharos: Revista de la Facultad de Ingeniería*, 1(1):1-8.
- Bautista, P., & Anderson, C. (2024). Efecto del sistema de extracción del mucílago de *Opuntia ficus-indica* sobre las características bromatológicas de *Fragaria x ananasa* recubierta. Trabajo de Integración Curricular. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo
<https://182833.o7eteavr.asia/bitstream/123456789/22244/1/56T01317.pdf>
- CONAGUA, SEMARNAT (2015). Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015. Conagua, Semarnat. México.
- CONAGUA (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. Comisión Nacional del Agua. Publicaciones Estadísticas y Geográficas SINA 130:92.
- Contreras Sanabria, K. L., & Gutiérrez Mayta, T. M. (2015). Remoción de plomo de las aguas del efluente minero de Yauli La Oroya utilizando el coagulante de maguey (*Agave americana* L.) A nivel de laboratorio. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Centro del Perú.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3730/Contreras%20Sanabria-Gutierrez%20Mayta.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guardiola de León, A. J. (2018). Extracción y caracterización de mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller) de cinco cultivares, en tres estados de maduración (Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Hábitat, O. N. U. (2021). Comprender las dimensiones del problema del agua. Línea <https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-delagua>.
- Hernández-Aguilar, C., Domínguez-Pacheco, A., Cruz-Orea, A., Podleśna, A., Ivanov, R., Carballo Carballo, A., Pérez Reyes, M.C., Sánchez Hernández, G., Zepeda Bautista, R., & López-Bonilla, J. L. (2016). Bioestimulación láser en semillas y plantas. *Gayana. Botánica*, 73(1): 132-149.
- Hídricos (2021). El valor del agua. Programa Mundial de UNESCO.
<https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/es/resources#:~:text=El%20Informe%20Mundial%20de%20las,la%20gesti%C3%B3n%20de%20recursos%20h%C3%ADdricos>.

- Inglese, P., Saenz, C., Mondragon, C., Nefzaoui, A., & Louhaichi, M. (2018). Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas Roma. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/73ea486f-87b1-4a97-ba94-ebfc89ed528a/content>
- Lichtfouse E, Morin-Crini N, Fourmentin M., Zemmouri H., do Carmo Nascimento I.O., Queiroz L.M., Mohd M., Picos-Corrales L.A., Pei H., Wilson L.D., Crini, G. 2019. Chitosan for Direct Bioflocculation Processes. En: Crini, G. y Lichtfouse. Sustainable Agriculture Reviews 36: Chitin and Chitosan: Applications in Food, Agriculture, Pharmacy, Medicine and Wastewater Treatment. 36. Francia: Springer. 335-380.
- Mexicana, N. O. (2021). NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.
- Morales, B. D. J. S., Herrero, M. C. M. E. L., López, C. R., & Sánchez, I. V. M. (2013). Aprovechamiento de los residuos de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller) para la obtención de mucilago y su aplicación como floculante. Congreso Internacional de Investigación. *Academia Journal*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas México. 5(3): 1497- 1500. https://www.researchgate.net/profile/Carolina-Ramirez-Lopez/publication/303959979_Aprovechamiento_de_los_residuos_de_nopal_Opuntia_ficus-indica_L_Miller_para_la_obtencion_de_mucilago_y_su_aplicacion_como_floculante/links/57601c0308ae2b8d20eb250e/Aprovechamiento-de-los-residuos-de-nopal-Opuntia-ficus-indica-L-Miller-para-la-obtencion-de-mucilago-y-su-aplicacion-como-floculante.pdf
- Pérez Ramos, A., Guerrero Baca, L. F., González Chávez, J. L., & Prado Núñez, R. (2017). Nopal mucilage as hydration agent for quicklime; extraction methods. *Ge-conservación*, 11: 189-195.
- Pinto Guzmán, A.L. (2017). Evaluación y comparación de la efectividad del uso de floculantes naturales Aloe vera (Sábila) y *Opuntia ficus-indica* (Nopal/Tuna) y orgánicos (Ferrocryl® y Chemlok 2040®) en el tratamiento de aguas residuales del proceso de teñido de la empresa Franky y Ricky SA. Tesis de Licenciatura. Universidad Católica de Santa María. Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas. Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/680e3125-5213-4cc8-81b9-7dec679b69d6/content>
- Ramírez, F. B., Alba, D. D., Castillo, B. D., & Ortiz, R. M. H. (2017). Importancia de la reutilización de las aguas grises domésticas. In Organizaciones-sociedad, una relación compleja: nuevas estrategias, nuevos actores (pp. 265-278).

Fragua

Rivera, M. A. O., Barahona, W. E. C., Costales, J. H. N., Lalvay, X. A. L., & Guachichullca, E. J. R. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(3): 228-245.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1): 35-46.