

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

APLICACIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus indica*) COMO COAGULANTE PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES

APPLICATION OF NOPAL (*Opuntia ficus indica*) AS
PRIMARY COAGULANT WASTEWATER

Recibido el 2 de septiembre de 2013; Aceptado el 26 de junio de 2014

Mabel Vaca-Mier¹
Raymundo López-Callejas¹
Julio Flores-Rodríguez¹
Hilario Terres Peña¹
Arturo Lizardi Ramos¹
*Ma. Neftalí Rojas -Valencia²

Abstract

The primary treatment of wastewaters represents a viable alternative for the reuse of these waters in irrigation where precipitation is low or there is lack of water, since the obtained water quality is suitable at a reduced price. In this work the performance of the powered Mexican prickly cactus (*Opuntia ficus indica*) as primary coagulant for wastewater was evaluated using jar tests. Wastewaters tested came from the sewage system of the Azcapotzalco campus of the Autonomous Metropolitan University, in Mexico City. Their main characteristics were: pH between 6.8 and 7.1, initial chemical oxygen demand (COD) between 198 and 215 mg/L, total coliforms of 5.1×10^6 FCU/100 mL and turbidity between 289 and 367 NTU. Applied concentrations of prickly cactus powder were between 10 and 70 mg/L, and mixing and resting times of 3 min at 150 rpm, and 30min, respectively. Turbidity was reduced up to 65-92%. Total coliforms were reduced in 3 Log, however, this parameter would need a posterior disinfection treatment, since the maximum allowance in Mexican regulation was not met. COD was reduced up to 37.9%.

Keywords: Opuntia, prickly cactus powder, primary coagulant, wastewater reuse.

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México.

² Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

*Autor correspondiente: Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Ingeniería Ambiental, Edificio 5, cubículo 410. Avenida Universidad # 150. Colonia Coyoacán, Distrito Federal, México.

Email: nrov@pumas.iingen.unam.mx

Resumen

El tratamiento primario de las aguas residuales es una alternativa viable para el reúso de las aguas en riego de zonas de baja precipitación pluvial o escasez de agua, ya que se puede alcanzar una calidad de agua adecuada para esta aplicación a bajo costo. En este trabajo se evaluó la efectividad del polvo seco de nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario en el tratamiento de aguas residuales, empleando pruebas de jarras. Las aguas residuales provenían del sistema de drenaje de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco caracterizadas por un pH entre 6.8 y 7.1, una demanda química de oxígeno (DQO) inicial en el intervalo de 198 a 215 mg/L, un contenido de coliformes del orden de 5.1×10^6 UFC/100 mL y una turbiedad en el intervalo de 289 y 367 UNT. Se emplearon dosis entre 10 y 70 mg/L de polvo de nopal y tiempo de agitación de 3 min a 150 rpm con tiempo de reposo de 30 min. La turbiedad fue reducida desde 65 hasta 92%. Los organismos coliformes iniciales disminuyeron en 3.8 Log, aunque este parámetro exigiría un posterior tratamiento de desinfección, pues no se alcanzarían los límites máximos permisibles que señala la Norma Oficial Mexicana respectiva. Se eliminó el 37.9% de la DQO, porcentaje adecuado para un tratamiento primario avanzado.

Palabras clave: Opuntia, polvo de nopal, coagulante natural, tratamiento de aguas residuales.

Introducción

El tratamiento primario avanzado de las aguas residuales domésticas es una alternativa viable para el reúso de las aguas en riego de zonas de baja precipitación pluvial o escasez de agua, ya que se puede alcanzar una calidad de agua adecuada para esta aplicación a bajo costo, que consiste en la remoción de una porción significativa de sólidos suspendidos que originan una demanda de oxígeno y simultáneamente de organismos patógenos asociados a estos sólidos, mediante la adición de sustancias coagulantes, con el propósito del reúso de estas aguas en aplicaciones benéficas (Zhao *et al.*, 2000). El coagulante de más amplio uso es el sulfato de aluminio, el cual, además de su elevado costo presenta desventajas tales como la generación de elevados volúmenes de lodos de difícil disposición final, la reducción de la alcalinidad y el pH del agua, y la producción de efectos tóxicos al ambiente y la salud (Solís *et al.*, 2012). Recientemente se han reportado diversos estudios centrados en encontrar coagulantes alternativos con potencial semejante al de esta sustancia, que sean más amigables al ambiente y de fácil aplicación (Almendárez, 2004, Anastasakis *et al.*, 2010, Bratby, 2006, Kazi y Virupakshi, 2013).

El nopal (*Opuntia ficus indica*), cactácea cultivada ampliamente en América y Sudáfrica, cuyas hojas o cladodios son empleados en la cocina mexicana tradicional tiene un gran potencial para ser aplicado en el tratamiento de las aguas residuales. En México se cultivan más de 11000 ha y la producción para consumo humano rebasa las 8600 toneladas anuales (SIAP, 2005).

El mucílago del nopal, que es una sustancia gomosa que se encuentra alojada en los cladodios de la planta, es una mezcla neutral de aproximadamente 55 sacáridos de alto peso molecular, constituida básicamente de arabinosa, galactosa, xilosa y ácido galacturónico (Saéñz *et al.*, 2004). Este mucílago ha demostrado ser eficaz en la coagulación de sólidos suspendidos en el agua y las aguas residuales. Ya se ha probado que es un coagulante mucho más rápido que el $Al_2(SO_4)_3$, que el mecanismo de floculación es por puenteo, debido al carácter hidrofílico del mucílago y que su eficiencia se incrementa proporcionalmente a la concentración del mucílago (Young, 2006).

La aplicación del nopal (*Opuntia ficus indica*), como coagulante alternativo puede ofrecer un enfoque adecuado para el tratamiento primario de aguas a un nivel doméstico rural, ya que esta tecnología se ayuda de mano de obra y materiales locales, sin ningún grado de industrialización y un costo bajo, lo que podría contribuir a afianzar las tecnologías sustentables de tratamiento de aguas (Zimmerman y Miller, 2008).

En este trabajo se estudió la aplicación del polvo seco obtenido de los cladodios del nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario en el tratamiento de aguas residuales, empleando pruebas de jarras. Se buscaba comprobar si se conservaba la efectividad en el tratamiento primario de aguas residuales, del producto obtenido al secar los cladodios por un método alternativo sustentable (energía solar) (López *et al.*, 2013), para de esta forma contar con un coagulante susceptible de estandarización y fácil aplicación, ya que el mucílago es altamente degradable y el producto seco tiene un tiempo de vida en anaquel muy amplio.

Metodología

Las aguas residuales empleadas en el estudio provinieron del sistema de drenaje de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, caracterizadas por un pH entre 6.8 y 7.1, una demanda química de oxígeno inicial en el intervalo de 198 a 215 mg/L y un contenido de coliformes totales del orden de 5.1×10^6 UFC/100 mL.

Se llevaron a cabo pruebas de jarras empleando polvo de nopal (*Opuntia ficus indica*) para estudiar su efectividad como coagulante primario. El polvo de nopal se obtuvo moliendo el producto obtenido mediante la tecnología de secado solar de cladodios, descrita detalladamente por López *et al.* (2013). Se emplearon cuatro concentraciones: 10, 30, 50 y 70 mg/L de polvo seco de nopal en jarras por triplicado. Todas las pruebas se llevaron a cabo empleando muestras de 250 mL de agua residual cruda en jarras de cristal de 800 mL de capacidad, con un agitador múltiple de jarras que se operó de manera constante a 150 rpm con un tiempo de agitación inicial de 3 minutos. Se emplearon como parámetros de referencia la eliminación de la turbiedad, DQO y coliformes totales.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se sintetizan los resultados de las pruebas de jarras para la determinación del tiempo adecuado de reposo (sedimentación) entre 5 y 60 minutos para concentraciones entre 10 y 70 mg/L de polvo de nopal con una turbiedad inicial del agua residual a tratar de 310 NTU. Ahí se observa, que para un tiempo de reposo de 20 minutos ya se obtenían reducciones de turbiedad mayores al 80% alcanzándose el máximo de 92% a los 30 minutos de reposo, por lo que se adoptaron para el resto de las pruebas tiempos de agitación de 2 min a 150 rpm y tiempos de reposo de 30 min.

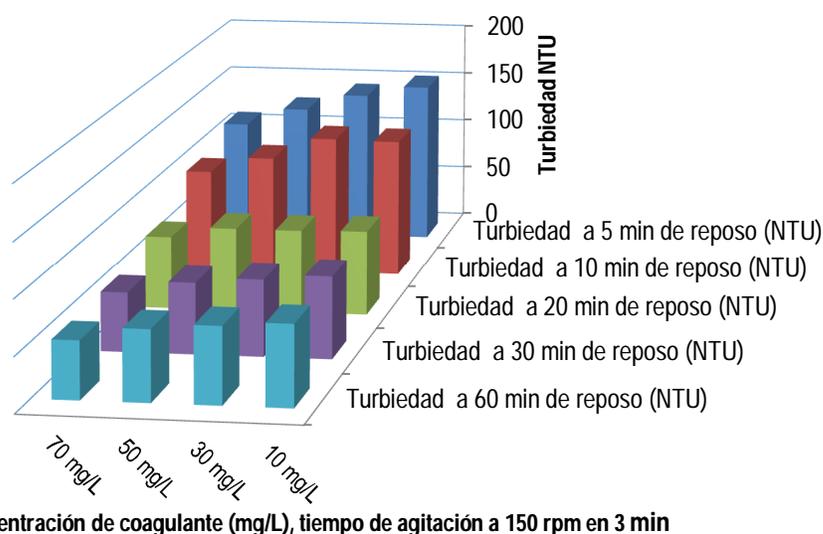


Figura 1. Resultados de las pruebas de jarras para la determinación del tiempo de reposo (sedimentación) en la remoción de turbiedad con polvo de nopal

Los resultados de remoción de turbiedad y DQO en función de la concentración aplicada de polvo de nopal se pueden apreciar en la Tabla 1. Se puede observar que la efectividad del coagulante natural se incrementa proporcionalmente con la concentración aplicada; la turbiedad se redujo de un 65.2 hasta un 91.6% para la máxima concentración del coagulante agregado. Este resultado coincide con los reportes de Castellanos *et al.* (2012) y Pichler *et al.* (2012) que encontraron intervalos semejantes de eficiencia de remoción de turbiedad aplicando el mucílago fresco. Con esto se confirma que la propiedad coagulante se conserva en el polvo del nopal en gran medida, en comparación con lo reportado para el mucílago fresco de nopal, el cual en condiciones similares a las del presente estudio deja turbiedades residuales en valores cercanos a 30 NTU (Young, 2006; Olivero *et al.* 2013). Recientemente Kazi y Virupakshi (2013) reportaron reducciones cercanas al 78% en la turbiedad de aguas residuales de una industria textil aplicando polvo de nopal.

Tabla 1. Remoción de turbiedad y DQO en función de la concentración de coagulante

Concentración de coagulante (mg/L)	Turbiedad inicial (UNT)	Remoción de Turbiedad (%)	Remoción de DQO (%)
	367		
10		68.9	20.1
30		80.1	27.1
50		84.9	31.0
70		91.6	37.9

La DQO se redujo con la aplicación del polvo de nopal en un intervalo entre el 20.1 y el 37.9% como máximo. Tratándose de un tratamiento primario avanzado, la reducción de este parámetro está dentro de la eficiencia esperada. Al concentraciones hasta seis veces mayores de mucílago (400 mg/L) al agua residual de una industria textil Kazi y Virupakshi (2013) obtuvieron reducciones de la DQO de hasta 75%.

En la tabla 2 se muestran los valores del pH observados en todas las pruebas. Se hace notar que el polvo de nopal incrementó en todos los casos en un máximo de cuatro décimas, obteniéndose siempre un agua tratada muy cercana a la neutralidad. Estos resultados indican una ventaja del coagulante sobre otros que alteran el pH del agua tratada, como el sulfato de aluminio (Solis *et al.*, 2012).

Tabla 2. Valores de pH en las pruebas de coagulación

Dosis de coagulante de nopal (mg/L)	pH inicial unidades	pH final unidades
10	6.79	7.04
	7.02	7.13
	7.11	7.36
30	6.79	7.20
	7.02	7.29
	7.11	7.34
50	6.79	7.33
	7.02	7.42
	7.11	7.51
70	6.79	7.35
	7.02	7.38
	7.11	7.48

La reducción de coliformes totales que se logra al aplicar el polvo de nopal como coagulante se puede observar en la Tabla 4. Partiendo de una concentración inicial de 5.1×10^6 UFC, se obtiene para la concentración de 70 mg/L de coagulante una reducción de 3.82 Log. Aunque con la aplicación de esta concentración del coagulante natural se obtiene la reducción de más del 90% de la turbiedad, bajo las condiciones de este experimento no es posible alcanzar la calidad bacteriológica definida en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, y al respecto indica que no se debe exceder el valor de 240 NMP CF/100 mL para aguas que se utilizarán en riego de áreas verdes con contacto directo. Se sabe que la sedimentación no es un proceso eficiente en la remoción de sólidos de tamaños menores a 0.02 mm, a los que se asocia un porcentaje importante de los microorganismos presentes en las aguas residuales. No obstante, la reducción de la turbiedad ha sido reconocida como un pretratamiento con potencial para incrementar la eficacia de los procesos de desinfección por la Organización Mundial de la Salud (Sobsey, 2006). En consecuencia, el tratamiento primario avanzado debe complementarse con un proceso adicional de desinfección, que requerirá menos insumos pues atenderá una carga reducida de microorganismos.

Tabla 4. Reducción de organismos coliformes totales en función de la concentración de coagulante

Concentración de Polvo de nopal (mg/L)	No, UFC CT/100 mL	N, UFC CT/100 mL	-log(N/No)
10	5.1E+06	6.5E+04	0.84
20	5.1E+06	4.0E+04	2.105
50	5.1E+06	3.2E+04	3.20
70	5.1E+06	7.7E+03	3.82

Conclusiones

La aplicación del polvo seco del nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario de las aguas residuales crudas descritas en este estudio resultó efectiva en la remoción de turbiedad hasta en un 92% a partir de 365 UNT. También se separó hasta un 34% de la DQO y 3 Log de organismos coliformes totales. Estos resultados son comparables a los que se han obtenido en estudios similares aplicando el mucílago de nopal fresco.

Se concluyó la aplicabilidad del polvo de nopal como un coagulante primario alternativo, de bajo costo, gran efectividad y sin efectos tóxicos al medio ambiente, que acompañado de otros procesos como la desinfección con sustancias alternativas, representaría una opción de tratamiento sustentable para el reúso de aguas negras en actividades de riego.

Referencias

- Almendárez, N. (2004) Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del Lago de Managua, Nicaragua. *Revista Iberoamericana de Polímeros* **5**, 46-54.
- Anastasakis, K., Kalderis, D., Diamadopoulos, E. (2010) Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater. *Wat. Sci. Technol.* **61**, 786-791.
- Bratby, J. (2006) *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. IWA Publishing; 2a Ed. 424 pp.
- Kazi, T., Virupakshi, A. (2013) Treatment of Tannery Wastewater Using Natural Coagulants. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, **2**(8), 4061-4068.
- López, R., de Ita, A., Vaca, M., Lizardi, A. Morales, J., Terrés, H., Lara, A. (2013) Kinetics modeling of the drying of *Opuntia ficus indica* with solar energy. *Journal of Physics Education*, **59**(1), 161-165.
- NOM-003-SEMARNAT-1997. *Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público*. Diario Oficial de la Federación, 21 de septiembre de 1998.
- Olivero, V. R. E., Mercado, M. I. D., Montes, G. L. E. (2013) Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucilago del nopal *Opuntia ficus-indica*, *Producción + Limpia* **8**(1), 19-27.
- Pichler, T., Young, K., Alcantar, N. Eliminating turbidity in drinking water using the mucilage of a common cactus. *Water Sci. Technol. Water Supply*, **12**(2), 179-186.
- Saénz, C., Sepúlveda E., Matsuhira, B. (2004) *Opuntia spp* mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Env.*, **57**(3), 275-290.
- SIAP (2005) Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera con información de las delegaciones de la SAGARPA en los estados. Consultado en junio de 2013, desde <http://www.aguascalientes.gob.mx/sedrae/see/info-nacionales/SIAP.pdf>
- Sobsey, M. D. (2006) *Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply*. WHO/SDE/WSH/02.07 (WHO) World Health Organization, Chapel Hill, CA.
- Solís S. R., Laines C. J. R., Hernández B. J. R. (2012) Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Rev. Int. Cont. Amb.* **28**(3), 229-236.
- Young, K. A. (2006) *The Mucilage of Opuntia ficus indica: A Natural, Sustainable, and Viable Water Treatment Technology for Use in Rural Mexico for Reducing Turbidity and Arsenic Contamination in Drinking Water*. Graduate School Theses and Dissertations, University of South Florida, 179 pp.
- Zhao, W., Ting, Y. P., Che, J. P., Xing, C. H., Shp, S. Q. (2000) Advanced Primary Treatment of Waste Water Using a Bio-Flocculation-Adsorption Sedimentation Process. *Acta Biotechnol.* **20**(1): 53-64.
- Zimmerman J.B., Miller S.M. (2008) Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia spp.* as a natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Environ. Sci. Technol.* **42**(12), 4274-4279.