

Diferentes maneras de uso de un clarificante natural en procesos de potabilización de aguas turbias

Jorge E. Almazán¹, Roque M. Domínguez Castro¹, Dolores Gutierrez Cacciabue¹, Estela M. Romero Dondiz¹ y Verónica B. Rajal¹

¹Instituto de Investigaciones para la Industria Química (CONICET-UNSA), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina

Fecha de recepción del manuscrito: 21/09/2018

Fecha de aceptación del manuscrito: 12/12/2018

Fecha de publicación: 26/12/2018

Resumen— Durante el proceso de potabilización, para clarificar el agua se utilizan coagulantes que son generalmente sales inorgánicas, como el sulfato de aluminio. Sin embargo, estas presentan desventajas como por ejemplo el riguroso control de pH que requiere su uso, baja eficiencia cuando las aguas son muy turbias y alto contenido de aluminio residual, convirtiéndose en un riesgo para la salud humana. Por este motivo se comenzó a incursionar el uso de clarificantes naturales ya que son más económicos, accesibles e inoocuos. Entre estos se encuentra el mucílago de penca de tuna o nopal. Esta planta es autóctona de la región del noroeste de Argentina ya que las condiciones ambientales son favorables para su crecimiento. Aunque la penca se utiliza de manera casera, la eficiencia con respecto a la manera de uso no está del todo estudiada. El objetivo de este trabajo fue evaluar el poder clarificante del mucílago de penca de tuna agregándolo a matrices acuosas turbias de diversas formas: mucílago licuado, mucílago en polvo y polvo de extracto de mucílago. Las matrices fueron preparadas con agua destilada y una concentración de 5 g/l de sólidos (tamaño < 45 µm). Para los ensayos se utilizó el test de jarra y se determinó para cada caso la dosis óptima. Se encontró en todos los casos que la remoción de turbidez fue mayor a 96%, siendo el más eficiente el mucílago de penca de tuna licuado y que el desempeño de los clarificantes naturales fue mejor que el del sulfato de aluminio.

Palabras clave— clarificante natural, mucílago de penca de tuna, agua, clarificación.

Abstract— During the potabilization process, the coagulants, which are usually inorganic salts such as aluminum sulfate, are used to clarify the water. However, these have disadvantages such as the rigorous pH control that requires its use, low efficiency when the waters are very turbid and high residual aluminum content, becoming a risk to human health. For this reason, the use of natural clarifiers began to be studied since they are more economical, accessible and innocuous. Among these is the prickly pear cactus mucilage. This plant is native to the northwestern region of Argentina since the environmental conditions are favorable for its growth. Although this plant is used by some rural communities, the efficiency with respect to the way of its use is not fully studied. The objective of this work was to evaluate the clarifying potential of the prickly pear mucilage by adding it to turbid aqueous matrices of different ways: liquefied mucilage, mucilage powder and mucilage extract powder. The aqueous matrices were prepared with distilled water and a solids concentration of 5 g/l (size <45 µm). For assays, the jar test was used and the optimal dose for each case was determined. The removal of turbidity was greater than 96% in all cases being the most efficient liquefied mucilage. The performance of natural clarifiers was better than that of aluminum sulphate.

Keywords— natural clarifier, prickly pear mucilage, water, clarification.

INTRODUCCIÓN

El agua juega un rol esencial en todos los aspectos de la vida: en el medioambiente, en las economías de los países, en la producción industrial, en política y en la seguridad alimentaria. Es uno de los recursos más importantes no sólo para los humanos, sino para todos los seres vivos. Sin embargo, las problemáticas en torno a su disponibilidad aumentan con el tiempo. El crecimiento acelerado de la población, la expansión de la actividad industrial y agrícola y el inminente cambio climático son

factores que lo vuelven un recurso crítico y vulnerable (OMS 2006)

La Provincia de Salta, en el noroeste de Argentina, es una de las provincias con mayores índices de pobreza y de prevalencia de enfermedades hídricas, incluida la diarrea infantil (Aramayo et al. 2009). En la provincia dos tercios de la población vive en ciudades que han sufrido un crecimiento no planificado y por tanto carece de algunos servicios básicos. Este problema se acentúa mucho más en la población rural, donde la provisión de agua potable es insuficiente y a veces inaccesible, lo que obliga a la población a abastecerse con agua de diferentes fuentes que no reciben tratamiento o éste es deficiente (Gil et al. 2009). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud y el desarrollo de las regiones. Es por eso que debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo.

Dirección de contacto:

Jorge Emilio Almazán, Av. Bolivia N° 5150- Salta Capital, CP: 4400, Teléfono: +5 387 4255553, E-mail: emilioalmazan8787@gmail.com

Una etapa importante y limitante en el proceso de potabilización de aguas es la clarificación ya que condiciona qué tecnologías posteriores pueden aplicarse para obtener agua potable (Bratby 2006). Esta consiste en la remoción de partículas coloidales que se encuentran en suspensión en la matriz acuosa. La clarificación toma principal protagonismo en regiones donde las aguas superficiales (por ejemplo en la estación húmeda, en verano) son muy turbias por la cantidad de sedimentos removidos por las precipitaciones, lo que implica una desventaja para la aplicación de tratamientos de desinfección. Es por ello que la eliminación de la turbidez del agua tiene algunos beneficios asociados. Por un lado se logra una cierta disminución de la carga microbiana presente en el agua ya que aquellos asociados con las partículas sólidas sedimentarán y por otro lado permite mejorar la eficiencia de los tratamientos posteriores de desinfección mediante procesos de membranas, cloración, ozonización, u otro, para la obtención de agua segura para el consumo (Ngwenya et al. 2013).

Convencionalmente, los procesos de clarificación se realizan utilizando coagulantes-floculantes comerciales que son sales metálicas de carga elevada, como ser sulfato de aluminio, sulfato ferroso y cloruro férrico (Solis Silvan et al. 2012), siendo el primero el más común. Sin embargo, estudios realizados por diversos organismos han demostrado la presencia de trazas de aluminio en plantas potabilizadoras, lo que significa un riesgo potencial para la salud por los efectos adversos que tiene este sobre el sistema neurológico (Bratby 2006, Fuentes Molina et al. 2016) Incluso, el aluminio al no ser biodegradable puede causar problemas medioambientales durante el tratamiento y disposición de los lodos de sedimentación (Yin 2010).

Una posible e innovadora solución a estos problemas puede ser utilizar coagulantes naturales, los cuales son la alternativa prometedora para la remoción de turbidez en el agua. Estos coagulantes deben ser seguros para la salud y biodegradables (Muthuraman y Sasikala 2014). El uso de estos productos naturales implicaría una disminución en los costos de los procesos de potabilización y también favorecería a que las poblaciones rurales, que se ubican en zonas alejadas de los centros comerciales, puedan tener acceso a estos productos naturales para clarificar fuentes de agua de diferente origen. Finalmente, una de las principales ventajas es la prevención de riesgos para la salud, ya que la mayoría de estos productos son naturales e inoos.

En años recientes, numerosos estudios sobre una gran variedad de material vegetal han sido informados como fuente de coagulantes naturales. Por ejemplo, coagulantes a partir de Moringa Oleifera, porotos (*Phaseolus vulgaris*) y semillas de Nirmali (*Strychnos potatorum*) han sido investigados, obteniendo excelentes resultados (Fabris et al. 2010, Muthuraman y Sasikala 2014, Camacho et al. 2017, Fuentes Molina et al. 2016, Oladoja 2016).

La penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) se ha ganado la atención por parte del mundo científico debido a su alta producción de mucílago y su potencial como fuente de pectina para las industrias farmacéutica y alimentaria (Miller et al. 2008, Smida et al. 2017, Bakour et al. 2017). Algunos estudios han demostrado, además, que su mucílago posee propiedades destacadas para la remoción de turbidez (Nharingo y Moyo 2016, Butticey Alcantar 2014) Esta

planta es de sumo interés para la región del noroeste porque es parte del paisaje natural de la provincia de Salta ya que las condiciones ambientales son particularmente favorables para su crecimiento y se la encuentra asilvestrada cerca de los caminos y poblaciones (Lozano 2011).

En el presente trabajo se buscó profundizar en el estudio del mucílago como coagulante natural, evaluando distintas alternativas para agregarlo a matrices acuosas turbias, pensando en obtener un producto eficaz y que se pueda comercializar en un futuro en una presentación más amigable y sencilla para su uso en pequeñas comunidades principalmente ubicadas en zonas rurales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de penca de tuna y preparación de matrices acuosas

Se recolectó penca de tuna de la localidad de Vaqueros (Salta) y se la mantuvo a temperatura ambiente hasta su uso.

Para la realización de los diferentes ensayos se prepararon matrices acuosas turbias usando agua destilada, a la cual se le agregó sólidos extraídos del lecho río Wierna (Provincia de Salta), previamente clasificados por tamaño, empleando mallas ASTM. La fracción usada corresponde a la malla con partículas de diámetro menor a 45 μm . La concentración de sólidos fue de 5 g/l, valor que simula la mayor turbidez encontrada en los ríos en época estival (Gutiérrez Cacciabue 2013).

Para las experiencias de coagulación-floculación no se modificó el pH de las matrices acuosas, trabajando con un valor aproximado de 7. En trabajos anteriores (Gimenez Moreno et al. 2016) se pudo determinar que la variación del desempeño del clarificante natural no varía significativamente con el pH, lo cual es una ventaja que evita agregarle químicos al agua tratada.

Ensayos de coagulación-floculación

Para evaluar el poder de sedimentación del floculante natural se utilizó el test de jarra mediante el equipo Parsec JarTest. Se programó el mismo para que funcionara a máxima velocidad (150 rpm) durante 2 minutos y a velocidad moderada (15 rpm) durante 15 minutos. Estas fueron las condiciones óptimas para la sedimentación determinadas en trabajos anteriores (Salas Agüero 2013). A cada matriz acuosa turbia se le midió la turbidez en Unidades Nefelométricas Totales (UNT) antes de agregar el clarificante natural utilizando un medidor multiparamétrico Horiba. Luego se adicionó el clarificante natural de acuerdo a los diferentes ensayos y una vez finalizado el tiempo de sedimentación se determinó la turbidez final en cada una de las matrices. A partir de estos datos se calculó el porcentaje de remoción de turbidez, mediante la ec. (1), obteniendo así la dosis óptima.

$$\text{Remoción de turbidez (\%)} = [(T_i - T_f) / (T_i)] 100 \quad (1)$$

Siendo T_i la turbidez inicial de la matriz acuosa (UNT) y T_f la turbidez de la matriz acuosa una vez que se realizó el ensayo de sedimentación (UNT).

Clarificante de mucílago de penca de tuna licuado

Para la preparación del coagulante se procedió a pelar la penca y a extraer cuidadosamente el mucílago el cual fue licuado con un mixer ATMA (600 W), hasta la obtención de un líquido homogéneo de baja viscosidad (Fig.1).

A partir de allí se prepararon cuatro matrices acuosas de 0,5 l, a las cuales se adicionó sólidos en una concentración de 5 g/l. A tres de las cuatro matrices se les agregó el coagulante natural y la cuarta fue usada como control (sin coagulante). Las dosis de coagulante usadas fueron 0,3; 0,4; 0,5; 0,7 y 1 g/l respectivamente. Todos los ensayos se hicieron por triplicado.



Fig. 1: Mucílago de penca de tuna licuado. Fuente: Elaboración propia.

Clarificante de polvo de mucílago de penca de tuna

Para este ensayo se cortó el mucílago en finas tiras de 1 cm de ancho, las cuales fueron colocadas en estufa a 60°C durante 24 h (Fig. 2a) (Miller et al. 2008). A continuación se molieron con la ayuda de un mortero hasta obtener un polvo con partículas de aproximadamente 300 μm de diámetro (Fig. 2b). Se usaron cuatro matrices acuosas con 5 g/l de sólidos. A tres de ellas se les agregó el polvo, mientras que la cuarta fue usada como blanco. Las dosis de coagulante en polvo usadas fueron 0,005; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1 y 0,3 g/l. Todos los ensayos se hicieron por triplicado.

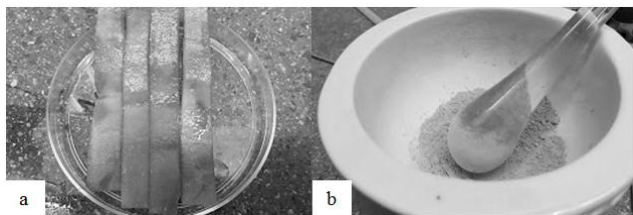


Fig. 2: Obtención del polvo de mucílago a) tiras cortada del mucílago de penca de tuna b) polvo de mucílago de penca de tuna. Fuente: Elaboración propia.

Clarificante de polvo de extracto de mucílago de penca de tuna

Se procedió en primera instancia a licuar el mucílago siguiendo el procedimiento explicado en la sección "Clarificante de mucílago de penca de tuna licuado". Luego, usando una relación 1:1 de alcohol etílico al 96% se realizó la extracción del presunto agente floculante (ácido poligalacturónico) (Miller et al. 2008). Las dos fases formadas fueron separadas haciendo uso de un filtro de tela

(Fig. 3). La parte no soluble en alcohol fue colocada a estufa a 60°C durante 24 h, obteniéndose un polvo de características similares al explicado en el ítem anterior.

Igual que en los casos anteriores se prepararon cuatro matrices acuosas con 5 g/l de sólidos, agregándoles a tres de ellas el extracto coagulante en polvo obtenido, mientras que la cuarta fue usada como control. Las dosis de coagulante usadas fueron 0,0025; 0,005; 0,0075; 0,01 y 0,04 g/l. Todos los ensayos se hicieron por triplicado.



Fig. 3: Extracción del agente coagulante. Fuente: Elaboración propia.

Comparación del desempeño de los clarificantes naturales con el sulfato de aluminio.

En trabajos anteriores (Gimenez Moreno et al. 2016) se evaluó el poder clarificante del sulfato de aluminio con matrices acuosas turbias con la misma concentración de sólidos y preparadas de igual forma que lo descrito en este trabajo. Los ensayos con este coagulante comercial se realizaron usando las condiciones óptimas para el mismo: pH=5,4 y dosis de floculante=300 mg/l (Akbar et al. 2010). Se comparó la remoción de turbidez obtenida con el sulfato de aluminio en contraste con las obtenidas con los diferentes clarificantes naturales estudiados en este trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clarificante de mucílago de penca de tuna licuado.

Para este caso se alcanzó para la dosis de coagulante de 0,4 g/l la mayor remoción de turbidez, que fue mayor al 99%, con una turbidez final de 6 UNT. Dosis mayores o menores a esta resultaron en remociones más bajas (Fig. 4).

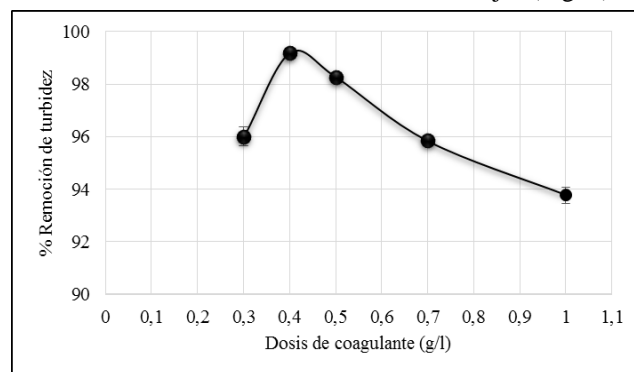


Fig. 4: Gráfica de obtención de la máxima remoción de turbidez (99,21%) con la dosis óptima de mucílago de penca de tuna licuado (0,4 g/l). Fuente: Elaboración propia.

El poder clarificante de este producto vegetal se debe a que el género *Opuntia* está caracterizado por la producción

de un hidrocoloide conocido como mucílago, que forma redes moleculares que son capaces de retener grandes cantidades de agua (Miller et al. 2008). El mucílago es una sustancia polimérica compleja, con una estructura marcadamente ramificada que contiene proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa, así como también ácido poligalacturónico (Trachtenberg y Mayer 1981).

De este modo se obtuvieron mejores remociones de turbidez que las obtenidas en trabajos anteriores (Almazán et al. 2016, Gimenez Moreno et al. 2016, Salas Agüero 2013), en los cuales se agregó a las matrices turbias el mucílago de penca de tuna fresco cortado en cubos de 1 cm de lado (98% de remoción de turbidez). Podría estar sucediendo que, al estar el mucílago licuado, se produce una mejor interacción de éste con los sólidos suspendidos.

Clarificante de polvo de mucílago de penca de tuna.

Para el caso del coagulante en versión polvo, la máxima remoción de turbidez fue de 96% cuando se utilizó una dosis de 0,05 g/l (Fig. 5). La turbidez final promedio registrada para este caso fue de 35 UNT.

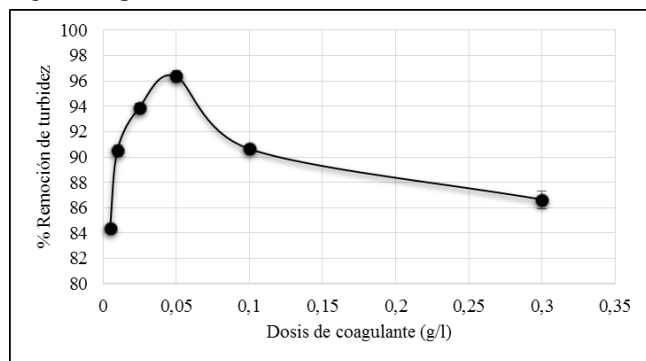


Fig. 5: Gráfica de obtención de la máxima remoción de turbidez (96,37%) con la dosis óptima de polvo de mucílago de penca de tuna (0,05 g/l). Fuente: Elaboración propia.

La dosis óptima fue menor que en el caso anterior que era de 0,4 g/l (clarificante de mucílago de penca de tuna licuado). Esto se debe a que al realizar un secado del mucílago se elimina el gran porcentaje de agua que tiene éste (90%) (Buttice y Alcantar 2014), lo que implica una disminución de masa de clarificante natural para realizar la remoción de turbidez.

Sin embargo, la remoción de turbidez máxima en este caso fue menor que en caso anterior (Fig. 4). Esto puede deberse a una posible disminución del poder clarificante del polvo a medida que avanza el tiempo, ya que los componentes del mucílago de penca de tuna se encuentran sin la protección de la matriz acuosa (Nharingoy Moyo 2016, Trachtenberg y Mayer 1981). Este método de obtención del clarificante natural es promisorio e interesante desde el punto de vista práctico, ya que el polvo (almacenado en un ambiente inerte) puede ser guardado por un tiempo mayor que el mucílago fresco y significa una disminución significativa (más del 100%) de la masa de clarificante a utilizar.

Clarificante de polvo de extracto de mucílago de penca de tuna.

El máximo valor de remoción de turbidez para este caso fue de 97% para una dosis de 0,005 g/l de este clarificante natural (Fig. 6). El valor final de turbidez para este caso fue de 27 UNT.

La dosis óptima para este caso fue menor que en el ensayo anterior con el polvo de mucílago de penca de tuna, que era de 0,05 g/l y se observó un ligero aumento del poder de remoción cuando se extrae el componente activo (97% versus 96%). Esto se debe a la extracción del agente clarificante del mucílago de penca de tuna que se realizó.

Esta alternativa tiene la ventaja que no agrega materia orgánica extra a la matriz acuosa tratada que es una de las desventajas que presentan clarificantes naturales. Sin embargo, el proceso de obtención del extracto es complejo y se deberían estudiar diferentes parámetros de síntesis para lograr mejores resultados.

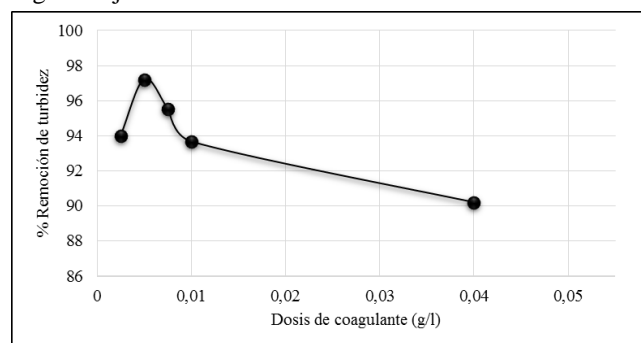


Fig. 6: Gráfica de obtención de la máxima remoción de turbidez (97 %) con la dosis óptima de polvo de extracto de mucílago de penca de tuna (0,005 g/l). Fuente: Elaboración propia

Comparación del desempeño de los clarificantes naturales con el sulfato de aluminio.

Cuando se comparó el poder clarificante del sulfato de aluminio con los clarificantes naturales obtenidos en este trabajo, en todos los casos los últimos lograron mayores remociones de turbidez (Fig. 7). De acuerdo a estudios anteriores (Miller et al. 2008), la habilidad de coagulación del mucílago ocurre por un mecanismo de formación de uniones puente hidrógeno e interacciones dipolo. Los autores atribuyen al ácido poligalacturónico como responsable por estas interacciones en la formación de flóculos.

El sulfato de aluminio presenta la desventaja de disminuir su eficiencia cuando es utilizado en matrices acuosas con alta turbidez y necesitar un control estricto del pH (Akbar et al. 2010). Frente a estas limitaciones, el mucílago de penca de tuna en todas las formas evaluadas como clarificante natural, se presenta como un producto más eficiente y eficaz que el coagulante comercial.

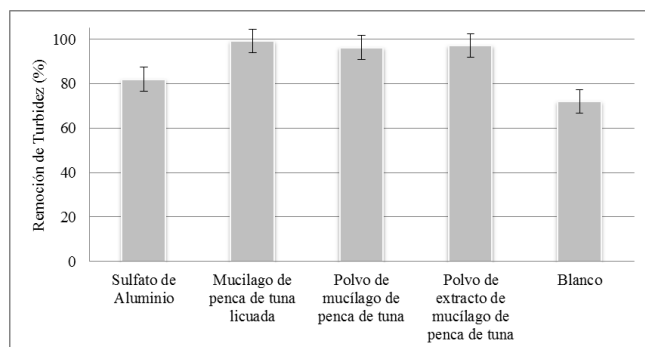


Fig. 7: Remoción de turbidez para los diferentes clarificantes en matrices acuosas de 5 g/l de sólidos. Las condiciones para cada clarificante fueron las óptimas. El blanco fue sin el agregado de ningún clarificante. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se pudo estudiar el desempeño del mucílago de penca de tuna como clarificante natural para matrices acuosas turbias. Cuando se trabajó con el mucílago de penca de tuna licuado se obtuvo la mayor remoción de turbidez (mayor a 99%), con una dosis óptima de 0,4 g/l. En los otros dos casos (polvo y polvo de extracto), si bien la remoción fue menor, no dejan de ser valores aceptables y prometedores (mayor a 96%). No hay que perder de vista que el proceso de coagulación-floculación y sedimentación sólo es una etapa previa que permite una mayor eficiencia en los tratamientos posteriores para obtener agua potable. Es importante destacar que en estos dos casos el valor de la dosis de clarificante natural fue menor que cuando se probó el mucílago licuado (0,05 g/l para el polvo y 0,005 g/L para el polvo de extracto).

Los clarificantes naturales tuvieron un mejor desempeño en cuanto a la remoción de turbidez en comparación con el sulfato de aluminio (más del 10% en todos los casos). Este resultado demuestra el potencial del mucílago de penca de tuna como clarificante, con la ventaja que no requiere de un control de pH, que no es nocivo para la salud humana y que es un producto biodegradable y abundante en la región del noroeste argentino.

REFERENCIAS

[1] Akbar, B., Daryabeigi Zand, A., Mehrdadi, N. y Karbassi, A. R. (2010) 'Optimizing Coagulation Process for Low to High Turbidity Waters Using Aluminum and Iron Salts', *American Journal of Environmental Sciences*, vol. 6, No.5, pp. 442-448.

[2] Almazán, J. E., Gutiérrez Cacciabue, D., Chávez Díaz, L., Gimenez Moreno, A., Santi, M. y Rajal, V. B. (2016) 'Clarificación de aguas turbias previa a la ultrafiltración: influencia del uso de coagulantes en la vida útil de la membrana.', en *Libro de Actas del VI Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua*.

[3] Aramayo, C. F., Gil, J. F., Cruz, M. C., Poma, H. R., Last, M. S. y Rajal, V. B. (2009) 'Diarrhea and parasitosis in Salta, Argentina', *The Journal of Infection in developing countries*, vol. 3, No.02, pp. 105-111.

[4] Bakour, M., Al-Waili, N., El-Haskoury, R., El-Menyiy, N., Al-Waili, T., Al-Waili, A. y Lyoussi, B. (2017) 'Comparison of hypotensive, diuretic and renal effects between cladodes of *Opuntia ficus-indica* and furosemide', *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, vol. 10, No.9, pp. 900-906.

[5] Bratby, J. (2006) *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*, 2nd edition, Estados Unidos, IWA Publishing.

[6] Buttice, A. L. y Alcantar, N. A. (2014) 'Sediment Removal with the *Opuntia ficus-indica* Cactus: A Water Purification Method for Communities in Latin America A2' en *Comprehensive Water Quality and Purification*, Waltham: Elsevier, pp. 98-103.

[7] Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R. y Ribau Teixeira, M. (2017) 'The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment', *Chemical Engineering Journal*, vol. 313, pp. 226-237.

[8] Fabris, R., Chow, C. W. y Drikas, M. (2010) 'Evaluation of chitosan as a natural coagulant for drinking water treatment.', *Water Science & Technology*, vol. 61, No.8, pp. 2119-2128.

[9] Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J. y Ariza, C. P. (2016) 'Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas', *Producción + Limpia*, vol. 11, pp. 41-54.

[10] Gil, J., Cruz, M. C., Romero, L. C., Aramayo, C. F., Poma, H. R. y Rajal, V. B. (2009) 'Relevamiento de fuentes de riesgo ambiental en una zona semirural en la provincia de Salta', *Revista Ciencia*, vol. 3, No.5, pp. 111-127.

[11] Gimenez Moreno, A., Almazán, J. E., Gutiérrez Cacciabue, D., Romero-Dondiz, E. y Rajal, V. B. (2016) 'La penca de tuna como clarificante natural en procesos de sedimentación de aguas turbias', en *Libro de Actas del IX Congreso Argentino de Ingeniería-CADI 2016*. Argentina.

[12] Gutiérrez Cacciabue, D. (2013) *Resistencia y persistencia de organismos patógenos en ambientes acuáticos de la provincia de Salta. Sistemas para la mitigación y el control de la contaminación. Tesis Doctoral*, Salta - Argentina.

[13] Lozano, L. (2011) 'Ecofisiología de la tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.)', *Horticultura Argentina*, vol. 30, No.12, pp. 37-52.

[14] Miller, S. M., Fugate, E. J., Craver, V. O., Smith, J. A. y Zimmerman, J. B. (2008) 'Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment', *Environmental Science Technology*, vol. 42, No.12, pp. 4274-9.

[15] Muthuraman, G. y Sasikala, S. (2014) 'Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants', *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 20, No.4, pp. 1727-1731.

[16] Ngwenya, N., Ncube, E. J. y Parsons, J. (2013) 'Recent advances in drinking water disinfection: successes and challenges', *Rev Environ Contam Toxicol*, vol. 222, pp. 111-70.

[17] Nharingo, T. y Moyo, M. (2016) 'Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review', *Journal of Environmental Management*, vol. 166, pp. 55-72.

[18] Oladoja, N. A. (2016) 'Advances in the quest for substitute for synthetic organic polyelectrolytes as coagulant aid in water and wastewater treatment operations', *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 3, pp. 47-58.

[19] OMS (2006) *Organización Mundial de la Salud. Ambientes saludables y prevención de enfermedades. Guidelines for drinking water quality*, Ginebra, Suiza. Online: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines4/es/index.html.

[20] Salas Agüero, S. E. (2013) *Informe final de Beca de investigación para estudiantes avanzados: Ensayos de clarificación con extractos derivados de la Tuna*, Universidad Nacional de Salta. Salta-Argentina.

[21] Smida, A., Ncibi, S., Taleb, J., Ben Saad, A., Ncib, S. y Zourgui, L. (2017) 'Immunoprotective activity and antioxidant properties of cactus (*Opuntia ficus indica*) extract against chlorpyrifos toxicity in rats', *Biomedicine & Pharmacotherapy*, vol. 88, pp. 844-851.

[22] Solís Silvan, R., Laines Canepa, J. y Hernandez Barajas, J. (2012) 'Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales', *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 28, No.3, pp 88-95.

[23] Trachtenberg, S. y Mayer, A. M. (1981) 'Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage', *Phytochemistry*, vol. 20, No.12, pp. 2665-2668.

[24] Yin, C.-Y. (2010) 'Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment', *Process Biochemistry*, vol. 45, No.9, pp. 1437-1444.