



Influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de turbiedad del agua del río Pollo-Otuzco

Influence of the weight and time of agitation of natural coagulants in the removal of turbidity from the water of the Pollo-Otuzco river

Aurora Rosa Neciosup Obando ^{1*}, Isidoro Valderrama Ramos ², Miguel Angel Nole Burgos³

¹ Departamento Académico de Estadística de la UNT, Trujillo-La Libertad, Perú

² Departamento Académico de Ingeniería Química de la UNT, Trujillo-La Libertad, Perú

³ Escuela Académico Profesional de Estadística de la UNT, Trujillo-La Libertad, Perú

Resumen

La presente investigación experimental, tuvo como objetivo determinar la influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de la turbiedad del agua del río Pollo, como una alternativa de solución para minimizar su contaminación, provocada por los mismos pobladores, la red de alcantarillado, la acumulación de desechos orgánicos, procedentes de ganado vacuno, ovino y porcino, los cuales por filtración son transportados hacia las riberas del río, produciendo focos infecciosos, que generan malos olores; así como la aparición de mosquitos, roedores; los cuales pueden desatar epidemias, alterando la salud de los pobladores y cubierta vegetal. Se trabajó a nivel de laboratorio en base a una muestra de 50 litros de agua, extraída de este río. Se aplicó un diseño considerando como factores, el tipo de coagulante natural (cáscaras, de papa, de yuca y de tuna), el peso y el tiempo de agitación, con 2 repeticiones por tratamiento; validando los datos a través del Turbidímetro. Los resultados evidenciaron que a un peso de 0.2 gramos del coagulante natural de la cáscara de yuca influye significativamente en la turbiedad de agua en el río Pollo con un porcentaje de remoción del 30,50%.

Palabras clave: Peso, tiempo de agitación, coagulantes naturales, remoción, turbiedad del agua.

Abstract

The objective of this experimental research was to determine the influence of the weight and agitation time of natural coagulants on the removal of turbidity from the water of the Pollo river, as an alternative solution to minimize its contamination, caused by the villagers themselves, the sewer system, the accumulation of organic waste from cattle, sheep and pigs, which through filtration are transported to the river banks, producing infectious foci that generate bad odours; as well as the appearance of mosquitoes, rodents; which can trigger epidemics, altering the health of the inhabitants and vegetation cover. We worked at the laboratory level based on a sample of 50 liters of water, extracted from this river. A design was applied considering as factors, the type of natural coagulant (husks, potato, yucca and tuna), the weight and the agitation time, with 2 repetitions per treatment; validating the data through the Turbidimeter. The results showed that at a weight of 0.2 grams the natural coagulant of the cassava shell significantly influences the turbidity of water in the Pollo river with a percentage of removal of 30.50%.

Key words: Weight, stirring time, natural coagulants, removal, turbidity of water.

* Autor correspondiente

E-mail: aneciosup@hotmail.com (A. Neciosup)

Introducción

Tener una buena administración del recurso hídrico en la sociedad y en todos los ámbitos son retos medioambientales, sanitarios y económicos de primer orden. Se conoce que las actividades humanas pueden generar amenazas a la calidad del recurso hídrico, debido a las sustancias que introducen en el medio. Un agua de características fisicoquímicas y biológicas deterioradas es una fuente de riesgos patológicos para el humano y puede cuestionar no sólo la sostenibilidad y la perennidad de las actividades humanas sino también el buen estado de este recurso, que es necesario para las funciones medioambientales (Molenat y Voltz, 2012).

El Río Pollo se encuentra ubicado en la provincia de Otuzco, a una hora y media de la ciudad de Trujillo, esta fuente es de gran importancia, ya que esta agua es utilizada por algunos pobladores para el riego de cultivos y bebidas de animales. En este río siempre ha existido contaminación, y en la actualidad no ha cambiado, ya que los pobladores arrojan basura, vierten sus aguas de lavados como en las actividades de pelar mote entre otras; sin dejar de mencionar que su red de alcantarillado termina en este. Por otro lado, existe contaminación por parte de los animales, como el cerdo, vaca, oveja que dejan sus excrementos en el borde.

Todo lo mencionado anteriormente produce un alto índice de contaminación y focos infecciosos, generando malos olores y la aparición de mosquitos, roedores; los cuales pueden desatar epidemias, alterando la salud de los pobladores y cubierta vegetal. Es por ello que se le debe tener un mayor compromiso ambiental, puesto que las enfermedades son producto del mal estado en las que se encuentra el agua, por esta razón y para dar una alternativa de solución para minimizar el problema de contaminación que existe en el Río Pollo, se planteó la siguiente interrogante de investigación: ¿Cómo influye el peso y tiempo de agitación de los coagulantes naturales en la remoción de la turbiedad del agua del Río Pollo, Otuzco? basándonos en el parámetro físico (turbidez), para el cual se elaboraron tres coagulantes naturales y se evaluó la efectividad de cada uno de ellos en las aguas del Río Pollo.

Trabajos previos

Carrasquero et al. (2017) evaluaron la eficiencia de remoción de turbidez y color utilizando coagulantes obtenidos de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) durante el tratamiento de aguas de baja, media y alta turbidez. Se prepararon soluciones turbias sintéticas con valores iniciales de 10, 15, 25, 75, 100 y 200 UNT, quienes caracterizaron fisicoquímicamente las soluciones coagulantes preparadas y los parámetros fueron: pH, color, turbidez, sólidos totales, disueltos y suspendidos. En la experimentación utilizaron la prueba de Jarras para la determinación de las dosis óptimas de las soluciones coagulantes preparadas utilizando dosis de 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L para cada valor de turbidez inicial. Las mayores remociones de turbidez utilizando las soluciones coagulantes de cáscaras de papa y residuos de plátano fueron de 99,6 y 99,5% en el agua de 200 UNT con dosis de 50 y 25 mg/L, respectivamente. Se concluyó que las soluciones preparadas a partir de los residuos vegetales pueden ser utilizadas como coagulantes primarios en el tratamiento de aguas como alternativas frente al uso de coagulantes tradicionales.

Aguilar y Masmela (2017) desarrollaron una investigación experimental que tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia de dos coagulantes de origen natural en el tratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes del Parque Agroindustrial de Occidente (PAO), en Bogotá, donde emplearon los coagulantes naturales: Manihot esculenta (yuca) y Musa AAB Simmonds. (plátano), obteniendo los parámetros fisicoquímicos como: pH, color, turbiedad y SST, de las aguas residuales. Para realizar las pruebas usaron el test de jarras, con el fin de determinar la dosificación óptima de los coagulantes. La dosis óptima del almidón de yuca fue de 20 ml a una concentración de 252 ppm, presentando una eficiencia máxima de 38,1%; la dosis óptima del almidón de plátano fue de 18,5 ml a

una concentración de 252 ppm, presentando una eficiencia máxima de 60,6%; respecto a la eficiencia máxima presentada por el hidroxiclорuro de aluminio se determinó que los almidones de yuca y plátano están por debajo de este (49,9 y 27,4 puntos porcentuales, respectivamente).

Conteras et al. (2015) llevaron a cabo una investigación experimental con el objetivo de evaluar la eficiencia del mucílago extraído del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario al sulfato de aluminio, en el proceso de clarificación de agua proveniente del Rio Magdalena, buscando soluciones limpias y económicas de origen vegetal para sustituir los coagulantes químicos; haciendo referencia que para la clarificación en la potabilización del agua es necesario la aplicación de un coagulante que agrupe las partículas en suspensión haciéndolas flocular, para luego separarlas por filtración. Los resultados obtenidos evidencian que aplicando una cantidad máxima del 20 % de mucílago de nopal en la proporción de coagulantes y una velocidad de agitación de 200 rpm, se reduce la turbidez del agua hasta valores inferiores a 2 NTU, alcanzando eficiencias superiores al 50 % en la remoción de turbidez, siendo las más efectivas entre 96-98 %. Se logró reducir totalmente el color hasta 0 UPC, y el contenido de STD hasta valores menores a 200mg/L. El coagulante natural no afectó notablemente el pH del agua tratada y la conductividad aumentó en algunos tratamientos posiblemente a causa del coagulante primario.

Trujillo et al. (2014) analizaron la remoción de turbiedad en agua proveniente de una fuente natural, mediante coagulación/floculación, usando almidón de plátano. Se recolectó agua proveniente de una fuente natural de agua en el sector del Cerro de Oro de la ciudad de Manizales (Colombia) y 2kg de plátano verde recolectado en la plaza de mercado de la misma ciudad; desarrollando la prueba de jarras, para cada una de estas pruebas la concentración de sulfato de aluminio y almidón de plátano, el pH, los gradientes de velocidad rápida y lenta, se definieron de acuerdo al diseño factorial aleatorio 2⁴ con réplica, con factores: pH, dosis de coagulante, velocidad de mezcla rápida y velocidad de mezcla lenta. Los resultados de las pruebas de jarras y los datos de turbiedad evidencian que el almidón de plátano utilizado es efectivo como ayudante de floculación, cuando se usa sulfato de aluminio líquido y que podría substituir con éxito el uso de polielectrolitos comerciales y reducir así los costos de los tratamientos por coagulación/ floculación. Concluyendo que la mejor eficiencia de remoción de turbiedad se obtuvo con los niveles de los factores: pH igual a 5, proporción 50:50 en peso de la combinación sulfato de aluminio/almidón de plátano, velocidad de mezcla rápida de 150rpm, velocidad de mezcla lenta de 20rpm.

Villabona et al. (2013) caracterizaron la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) y extrajeron un agente coagulante de la misma, para remover turbidez del agua y color de aguas crudas, basados en su uso tradicional por las comunidades rurales en la clarificación del agua y en la carencia de suministro de agua potable en municipios de la Costa Atlántica, de Colombia. Las pencas de la tuna fueron previamente preparadas y el proceso global fue de 65 g de coagulante/Kg de material vegetal. Se aplicó la prueba de jarras para evaluar el poder coagulante del material extraído, analizando el efecto de tres dosis sobre el color, la turbidez y el pH del agua tratada, concluyendo que la tuna tiene la capacidad de remover 50% del color y 70% de turbidez de aguas crudas con alta turbidez inicial, sin alterar significativamente su pH.

Martínez y Gonzales, (2012) desarrollaron una investigación cuantitativa experimental sobre la evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*), para la remoción de la turbidez y color en las aguas crudas. La tuna fue convertida en polvo coagulante en una estufa para obtener los cambios físicos mediante operaciones unitarias como, secado, triturado, tamizado y extracción de pigmentos; asimismo la muestra de agua fue tomada del Canal del Dique, en jurisdicción de Arjona – Bolívar. La evaluación del poder coagulante se realizó mediante la prueba de las jarras y el uso de diseño factorial multinivel, evaluando los factores, velocidad de agitación (20rpm, 30rpm, 40rpm) y dosis de coagulante (50mg/l, 75mg/l, 90mg/l). A partir de los resultados obtenidos se concluye que, bajo las condiciones manejadas durante las pruebas, se consiguió remover la turbidez y el color en porcentajes

significativos, utilizando solo pequeñas dosis del coagulante de la tuna, evidenciando que una velocidad de 40 rpm y una dosis de 50 mg/l favoreció la clarificación del agua; asimismo concluyen que este coagulante natural alcanzó una eficiencia satisfactoria (84.52%), además logró remover un gran porcentaje de turbidez (85.76%) y de color (57.14%).

Alvarado (2012) realizó una investigación experimental sobre el uso de cáscaras de papa como coagulante natural en tratamiento de agua. La muestra de agua fue recolectada del río Cane y la quebrada colorada en Colombia. Se compararon mezclas de cáscaras de papa y sulfato de aluminio, con el fin de evaluar la formulación más adecuada como agente coagulante en el tratamiento de aguas potables, manteniendo sus características de pH, color y turbiedad. Se utilizó en los ensayos la prueba de jarras determinando que la dosis óptima del sulfato de aluminio (8 mg/L, formulación patrón), en la clarificación de una muestra de agua (color de 41 UPC, turbiedad de 2 UNT y pH de 7,76) comparando con las otras formulaciones de cáscaras de papa y sulfato de aluminio. Los resultados indican que la mayor reducción de color se obtuvo con el tratamiento 3 (2,5 g de cáscaras de papa) y lo mismo para el pH (7,46); concluyendo que no hubo diferencia significativa en la remoción de turbiedad en todos los tratamientos.

Solis et al. (2012) realizaron una investigación comparativa de mezclas con potencial coagulante compuestas por almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y sulfato de aluminio grado comercial, que permitirían reducir la cantidad sulfato de aluminio usado en plantas de tratamiento de agua. Se utilizó la prueba de jarras y se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio (30 mg/L, tratamiento 1), en la clarificación de una muestra de agua de río (color de 85 CU, turbiedad de 70 NTU y pH de 6.8). Esta dosis, sirvió como base para la preparación de seis mezclas con seis distintas composiciones de almidón y sulfato de aluminio (tratamientos 2 a 7). En cada tratamiento se midieron tres parámetros fisicoquímicos relevantes en ensayos de coagulación-floculación: color, turbiedad y pH. En cuanto a la remoción de turbiedad se observa que los tratamientos 1 y 2 son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Dunnett, con una reducción del 98.7 y 97.9 % respectivamente. Finalmente, el pH no varió significativamente para todos los tratamientos.

Parra et al. (2011) en su investigación titulada “Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el Mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose)/(Cactaceae)” que tuvo como objetivo evaluar la efectividad de un coagulante extraído de este coagulante natural en la clarificación del agua. Recolectaron muestras de agua cruda natural en la planta de tratamiento Pueblo Viejo, Venezuela, y prepararon aguas diluidas con turbiedades iniciales de 100, 120, 160, 180 y 200 NTU. En la simulación del proceso de coagulación floculación, sedimentación y filtración usaron la prueba de jarras, tratando las aguas preparadas con diferentes dosis (300, 400, 500, 600 y 700 ppm) de este coagulante natural, evaluando los parámetros pH, turbidez, color y alcalinidad en las aguas crudas y en las tratadas. Después de aplicar las dosis del coagulante (600 y 700 ppm), los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 85,25 y 94,84% antes de la simulación de la filtración y entre 91,82 y 98,34% luego de ello, demostrado finalmente que este coagulante es efectivo en la clarificación de las aguas de alta turbidez (100-200 NTU), con valores de remoción general del 70.0%.

Material y métodos

Diseño de investigación

Se planteó un diseño experimental, debido a que se manipularon de manera intencional una o más variables independientes o factores (causas) para analizar las consecuencias de la manipulación en una o más variables dependientes o variables respuesta (Hernández et al, 2014). Los factores, el tipo de coagulante natural (cáscara de papa, de yuca y de tuna), el peso (P) en gramos de coagulantes/muestra (0.2, 0.4, 0.6) y el tiempo (T) en minutos de agitación (10, 20), considerando dos repeticiones por tratamiento. Al combinar ambos factores (T y P), se tiene: $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$ unidades experimentales.

Recolección de muestras de agua

El volumen de muestra de agua que se analizó fue de 50 litros proveniente de una fuente natural de agua del río Pollo ubicado en la provincia de Otuzco, y se trabajó a nivel de laboratorio, midiendo los parámetros iniciales de turbiedad y pH; tomando como unidad de análisis a ,800 L agua de río.

Obtención del coagulante

Se trabajó con tres tipos de coagulantes naturales: cáscara de papa, cáscara de yuca y cáscara de tuna.

Análisis estadístico de los datos

Se hizo un análisis exploratorio de los datos, observando que no cumplen la condición de normalidad (González et al., 2006), por lo tanto, se trabajó con la prueba no paramétrica Kruskal- Wallis para el análisis estadístico. Los datos fueron procesados con el software estadístico Rstudio versión 3.4.4 (Aldás y Uriel, 2047).

Resultados

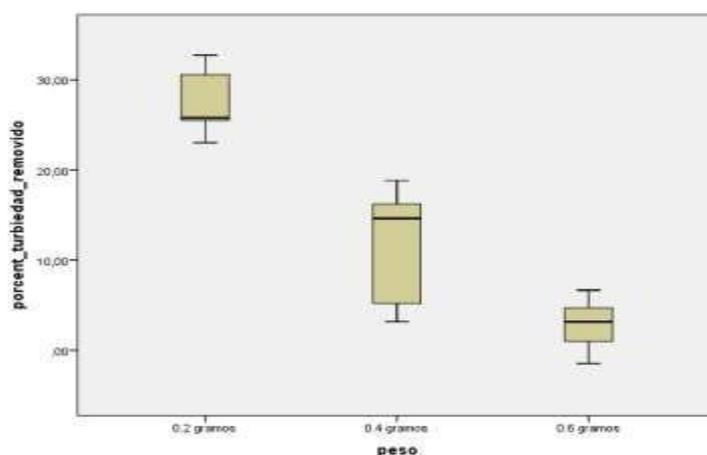
a) Prueba de Kruskal-Wallis para el peso

Tabla 1

Comparación de promedios del porcentaje de turbiedad removido según peso de coagulantes

Peso	N	Rango medio (%)	Prueba
0.2 g	12	30,50	$\chi^2= 28,44$ gl. = 2 p=,000**
0.4 g	12	17,33	
0.6 g	12	7,67	
Total	36		

En la tabla 1 se observa que la prueba estadística encuentra evidencia de diferencia altamente significativa ($p < .01$) en el porcentaje de turbiedad removido según el peso de los coagulantes naturales; siendo el peso de 0.2 gramos el que se obtuvo mayor porcentaje de remoción según lo establece el rango mediano y se corrobora con la figura 1.



Fuente: Tabla 1

Figura 1. Diagrama de cajas del porcentaje de turbiedad removido según peso de coagulantes

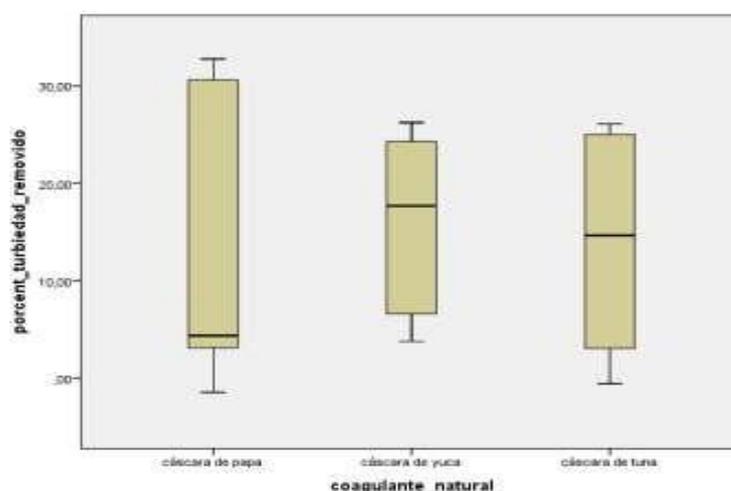
b) Prueba de Kruskal-Wallis para el coagulante natural

Tabla 2

Comparación de promedios del porcentaje de turbiedad removido según tipo de coagulante natural

Tipo de coagulante natural	N	Rango medio (%)	Prueba
Cáscara de papa	12	16,71	$\chi^2= 1,41$ gl. = 2 p=,495
Cáscara de yuca	12	21,42	
Cáscara de tuna	12	17,38	
Total	36		

En la tabla 2 se observa que la prueba estadística no encuentra evidencia de diferencia significativa ($p > .05$) en el porcentaje de turbiedad removido según el tipo de coagulante natural; siendo el peso de 0.2 gramos el que se obtuvo mayor porcentaje de remoción según lo establece el rango mediano; aunque se observa la tendencia a presentar un mayor un mayor porcentaje de remoción (21,42) de la cáscara de yuca como coagulante natural, lo cual se aprecia también en la figura 2.



Fuente: Tabla 2

Figura 2. Diagrama de cajas del porcentaje de turbiedad removido según tipo de coagulante natural.

Discusión

Analizando de los resultados se puede comprobar que el peso de los coagulantes naturales, indistintamente a cualquier tiempo de agitación influye significativamente en la remoción de turbiedad del agua del río Pollo, con un mayor porcentaje de remoción de turbiedad de 30,5% a 0.2 gramos de coagulante natural con cáscara de yuca; el cual se puede constatar con los estudios realizados por Aguilar y Masmela (2017), donde demostraron la eficiencia de coagulantes naturales: Manihot esculenta (yuca) y Musa AAB Simmonds. (plátano) en el tratamiento de reducir la turbiedad de las aguas y el estudio realizado por Solis et al. (2012), donde se comparó mezclas con potencial coagulante compuestas por almidón de yuca (Manihot esculenta Crantz) y sulfato de aluminio grado comercial, que permitirían reducir la cantidad sulfato de aluminio usado en plantas de tratamiento de agua.

Conclusiones

- Se logró determinar el tipo de coagulante natural más efectivo en el tiempo y concentración en la remoción de la turbiedad del agua del Rio Pollo ubicado en la provincia de Otuzco es el Coagulante natural de la cáscara de yuca, puesto que su porcentaje de remoción fue de 30,50%.
- Se determinó la concentración y a cualquier tiempo de los coagulantes naturales con mayor remoción, el cual fue a una concentración de 0.2 gr/800ml.
- También se logró comparar la efectividad de tiempo y concentración de los tres tipos de coagulantes naturales, en donde el coagulante de yuca fue el más eficiente en tiempo y concentración.

Referencias

- Aguilar, C. N. y Másmela, A. P. (2017). *Evaluación de almidón de Manihot esculenta (Yuca) y Musa aab simmonds. (Plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en la PTARD del parque agroindustrial de occidente – PAO.* (tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia de Bogotá). Recuperado de en <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/12023/1/1022947497>.
- Alvarado, L. (2012). Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la planta La Diana. *Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales.* 6, 115-121. Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/entrenamiento/index.php/pi/article/view/1115>
- Carrasquero, S. J., Montiel Flores, S., Faría, E. D., Parra, P. M., Marin Leal, J. C., & Díaz Montiel, A. R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas,* 13(2), 90-99.
- Contreras, K., Mendoza, Y., Salcedo, G., Olivero, R. y Mendoza, G. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia.* 10(1), 40-50. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552015000100004&script=sci_arttext&tlng=es.
- González, N., Abad, J. & Lévy, J.P. (2006). *Normalidad y otros supuestos en análisis de covarianzas.* En Lévy. J. y Varela, J. Modelización con estructuras de covarianzas en Ciencias Sociales (pp. 31-57. España: Gesbiblo, S.L. La Coruña.
- Hernández, R., Fernández, B. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación.* (6a. ed.), México: Mc Graw Hill.
- Aldás, J. y Uriel, E. (2047). *Análisis multivariante aplicado con R.* (2a. ed.), Madrid: Ediciones Paraninfo
- Martínez, J. y Gonzáles, L. E. (2012). *Evaluación del poder coagulante de la tuna (Opuntia ficus indica).* (tesis de pregrados, Universidad de Cartagena). Recuperado de <http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/137/>
- Molénat, J. Grunberger, O. y Voltz, M. (2012). Préservation et restauration de la qualité de l'eau. In : Hubert B. (dir.) Ressources en eau : préservation et gestion. Montpellier: Agropolis International, 2012, (14), p. 24-25. (*Les Dossiers d'Agropolis International*; 14). ISSN 1628-4240
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., Gonzales, Y. y Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de opuntia wentiana (*britton & rose*) / (cactaceae). *REDIELUZ.* 1(1), 1-7. Recuperado de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/redieluz/article/view/521>
- Solis, R., Laines J. y Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Rev. Internacional de Contaminación Ambiental.* 28(3), 229-236. Recuperado en 02 de abril de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300005&lng=es&tlng=es.

Trujillo, D; Duque, L.F.; Arcilla, J.S.; Rincón, A; Pacheco, S.; Herrera, O.F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Rev. Ion*, 27(1),17-34. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v27n1/v27n1a03.pdf>.

Villanoba, A., Paz, I.C., Martínez, J. (2013). Caracterización de *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 15(1), 137-144. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496223720>