



EVALUACIÓN DE ALMIDONES DE MALANGA (*Colocasia esculenta*) COMO AGENTES COADYUVANTES EN LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD EN PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA

EVALUATION OF TARO STARCHES (*Colocasia esculenta*) AS FLOCCULANT AIDS IN TURBIDITY REMOVAL FOR WATER TREATMENT PROCESS

R. López-Vidal¹, J.R. Laines-Canepa^{1*}, J.R. Hernández-Barajas¹ y M.A. Aparicio-Trápala²

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5 S/N, Bosques de Saloya, Villahermosa 86150, Tabasco, México.

²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa-Teapa km 25+2, La Huasteca 2da. Sección 86061, Tabasco, México.

Recibido 2 de Febrero 2014; Aceptado 1 de Agosto de 2014

Resumen

En este estudio se propone el empleo de almidones modificados de malanga (*Colocasia esculenta*) como agentes coadyuvantes en el proceso de coagulación-floculación enfocado a la potabilización de agua. Con este propósito se sintetizaron tres tipos de almidones fisicoquímicamente modificados a partir del almidón nativo: fosfatado, entrecruzado y pregelatinizado. A partir de una prueba experimental estandarizada se evaluó la eficiencia de remoción de turbiedad y de color de estos agentes en muestras sintéticas representativas de aguas superficiales de Tabasco con una turbiedad inicial de 400 UNT. Los resultados de la evaluación indican que no existe diferencia significativa entre el empleo de almidón nativo en comparación con los almidones modificados y en referencia al nivel de remoción de turbiedad alcanzado. Al respecto, la remoción máxima de turbiedad fue de 95% utilizando 15 mg/L de almidón nativo combinado con 35mg/L de $Al_2(SO_4)_3$. Por su parte, la remoción máxima de color fue de 99.2% dosificando 25 mg/L de almidón fosfatado de malanga con 25 mg/L de sulfato. En consecuencia, este estudio sugiere que el empleo de agentes ambientalmente amigables basados en almidones de malanga permitiría reducir las cantidades de $Al_2(SO_4)_3$ típicamente dosificadas en el proceso de coagulación-floculación en plantas de tratamiento de agua.

Palabras clave: coagulación-floculación, potabilización, almidón, malanga, *Colocasia esculenta*.

Abstract

In this study the use of modified starches from taro (*Colocasia esculenta*) as aid agents in the coagulation-flocculation process focused on water treatment has been proposed. For this purpose, three types of physicochemically modified starches from native starch were synthesized: Phosphated, crosslinked and pregelatinized. Based on a standardized experimental test, the removal efficiency of turbidity and color in representative samples of Tabasco's surface waters with an initial turbidity of 400 UNT was evaluated. The results referred to the level of turbidity removal showed no significant difference between the use of native starch compared to modified starches. In this regard, the maximum turbidity removal was 95% using 15 mg/L of native starch combined with 35 mg/L of $Al_2(SO_4)_3$. On the other hand, the maximum color removal of 99.2% was reached by using 25 mg/L of phosphated starch with 25 mg/L of sulfate. Accordingly, this study suggests that the use of environmentally friendly agents based on taro starches would reduce the amount of $Al_2(SO_4)_3$ typically used in the coagulation-flocculation process in water treatment plants.

Keywords: coagulation-flocculation, water treatment, starch, taro, *Colocasia esculenta*.

*Autor para la correspondencia. E-mail: : josra_2001@yahoo.com.mx
Tel. y Fax: 99 33 54 43 08

1 Introducción

En la actualidad, existen tecnologías emergentes avanzadas para el tratamiento de agua; por ejemplo, aquellas basadas en la electroquímica y que comienzan a mostrar ventajas competitivas sobre las tecnologías tradicionales pero no se encuentran plenamente establecidas en países en vías de desarrollo (Pérez-Sicairos y col., 2011). La coagulación y floculación son los procesos más importantes en las plantas de potabilización de agua (Bidhendi y col., 2009). Estos procesos son empleados para remover del agua los sólidos suspendidos utilizando un agente coagulante con el propósito de neutralizar las cargas electrostáticas de dichos sólidos. Como resultado, los sólidos pueden aglomerarse para formar flóculos cuya velocidad de sedimentación sea lo suficientemente alta para permitir una clarificación efectiva. La malanga (*Colocasia esculenta*) es una planta herbácea, suculenta, hidrófila, de la familia de las Aráceas. La raíz tuberosa es de forma ovoide-redonda, con una pulpa blanca conteniendo entre un 30 y un 85% de almidón y una cáscara de color marrón oscura (Onwueme, 1999; Dendy, 2001; Antonio-Estrada y col., 2009). La especie es originaria de América Central y se dispersó hacia Sudamérica, México, sureste de Asia, las islas del pacífico, las islas polinesias y África (Sonni y col., 2003). En México se cultiva en los estados de Oaxaca, Veracruz, Tabasco y Yucatán, con una producción de 40 Ton/ha. La producción anual en países productores es hasta de 84 Ton/ha (FAO, 2014).

Con respecto al uso habitual de la malanga, la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), organismos especializados dependientes de Las Naciones Unidas, relacionan al almidón con la dieta, la nutrición y la prevención de las enfermedades crónicas, incluso se han hecho algunas recomendaciones para el consumo de carbohidratos (FAO y WHO, 2002).

Los agentes coagulantes convencionales emplean cationes metálicos y entre los más comunes se encuentran las sales de aluminio y de hierro que suelen combinarse con polímeros orgánicos sintéticos que actúan como agentes coadyuvantes (Anastasakis y col., 2009). A nivel regional, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (CEPIS) ha experimentado con agentes coagulantes naturales tales como almidones solubles en agua provenientes de yuca y del maíz. Además, el CEPIS ha propuesto el empleo de otros agentes naturales tales como la

gelatina común, la tuna, la goma arábiga, la goma de tragacanto y carragenina, obteniendo eficiencias de remoción de hasta un 98% (Valeriano y col., 2013). Estos polímeros naturales han demostrado una serie de ventajas tales como una disminución en la dosificación de agente coagulante metálico, menor producción de lodos, un pequeño incremento en la carga iónica del agua tratada y niveles bajos del ion metálico en agua tratada (Bolto y Gregory, 2007). Por su parte, Bhuptawat y col. (2007) utilizaron mezclas de sulfato de aluminio y de extracto de semillas de *Moringa oleifera* que han resultado efectivas en la remoción de materia suspendida, generando menores volúmenes de lodo en comparación con el uso exclusivo de sulfato de aluminio.

La demanda creciente por tecnologías ambientalmente amigables ha dirigido el interés científico hacia el estudio de los polielectrólitos naturales con la finalidad de disminuir o eliminar el uso de agentes floculantes sintéticos en el tratamientos de agua (Bratskaya y col., 2004) ya que estos agentes naturales son fácilmente biodegradables (Anastasakis y col., 2009). Existe una gran variedad de estudios relacionados con la aplicación de agentes vegetales para la remoción de sólidos suspendidos y coloidales. Okuda y col. (2001), Kalogo y col. (2001), Folkard y col. (2001), Broin y col. (2002), Ghebremichael y Hutman, (2004), Kumari y col. (2005), Ghebremichael y col., (2006) y Sandoval-Arreola (2013) aplicaron el uso de semillas de *Moringa oleifera*. Sciban y col. (2009) y Jeon y col. (2009) proponen también el uso de extractos de semillas de castaña, bellota y uva. Anastasakis y col. 2009, utilizaron *Malva sylvestris* e *Hibiscus esculentus* (okra). Además, Martínez y col. (2003) evaluaron la eficiencia de un extracto de *Cactus lefaria* obteniendo entre un 80 y 90% de remoción de turbiedad. Después, Fabris y col. (2010) utilizaron como coagulante el quitosano, un biopolímero natural sintetizado a partir del exoesqueleto de crustáceos y que fue evaluado para la potabilización de agua.

El almidón es una de las bio-macromoléculas que constituye una fracción importante de un gran número de productos agrícolas. En cereales tales como el maíz, trigo y arroz, el almidón puede representar entre un 30 y 80% del peso en base seca. En las leguminosas como el frijol, chícharo y haba, el contenido de almidón varía entre un 25 y 50%. En tubérculos como la papa y la yuca puede variar entre un 60 y 90%. En frutas como el plátano y mango, en su estado verde o inmaduro alcanzan contenidos de almidón de hasta un 70% en base seca (Flores-

Gorosquera y col., 2004; Romero-Bastida y col., 2011). Laines y col. (2008) mencionaron que el uso de los almidones nativos está limitado principalmente por su tendencia a retrogradar y presentar sinéresis, o bien por la inestabilidad de su viscosidad durante el procesamiento; a pesar de ello, han sido utilizados exitosamente en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios, reportando niveles finales de turbiedad menores a 5 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) empleando mezclas de almidón de plátano con sulfato de aluminio. Debido a la baja efectividad de floculación de almidones nativos en el tratamiento del agua residual doméstica, se han desarrollado almidones con modificaciones fisicoquímicas para mejorar su eficiencia (Xing y col., 2005). Estas modificaciones del almidón nativo para mejorar sus propiedades, son comúnmente utilizadas en la industria alimentaria. Se ha reportado que el almidón nativo en su formulación, presenta limitaciones debido principalmente a su carácter hidrofílico, por tal motivo es necesario someter al almidón a modificaciones físicas o químicas (Zamudio-Flores y Bello-Pérez, 2013). Al respecto, Qudsieh y col. (2008) y Shogren (2009) señalan que la modificación de almidones ha sido un tema de investigación creciente y se ha incrementado el interés en nuevos bioensayos de agentes floculantes biodegradables tales como almidones modificados, celulosas y polisacáridos bacterianos.

Los almidones químicamente modificados tales como copolímeros, almidones catiónicos, carbohidratos, sulfatos y fosfatos han sido estudiados como agentes floculantes. Por ejemplo, Qudsieh y col. (2008) utilizaron el almidón de sagú (*Metroxylon sagu*) injertado con poliácridamida para obtener un nuevo agente floculante orgánico cuya capacidad de remoción de turbiedad fue superior al 96.6%. Por su parte, un floculante novedoso basado en almidón catiónico y quitosano fue preparado por You y col. (2009) quienes analizaron la influencia de la temperatura, pH y dosis del floculante sobre la eficiencia de floculación.

Mishra y col. (2005) reportaron una remoción del 90 y 68% de sólidos suspendidos y sólidos disueltos totales respectivamente, utilizando el mucílago de *Plantago psyllium* en el tratamiento de aguas residuales textiles. Solís y col. (2012) evaluaron el potencial coagulante de mezclas compuestas por almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y sulfato de aluminio obteniendo remociones de turbiedad mayores al 98%. Beltrán-Heredia y Sánchez-Martín (2009) utilizaron un nuevo agente coagulante-

floculante basado en un tanino modificado para el tratamiento de aguas residuales industriales. La eficiencia de remoción de color fue de 95% en el agua residual de una industria textil, y de 80% en la remoción de agente tensoactivo en el agua residual de lavanderías.

En referencia a los riesgos asociados a la vida acuática y a la salud pública, Katayon y col. (2006) y You y col. (2009) coinciden en que los monómeros de algunos polímeros orgánicos sintéticos tales como la acrilamida muestran un fuerte potencial carcinogénico constituyéndose como una toxina que actúa sobre el tejido nervioso destruyéndolo o impidiendo su funcionamiento normal. En contraste, Okuda y col. (1999) mencionan que los agentes naturales son biodegradables, no tóxicos para los ecosistemas e inocuos para la salud humana.

En Tabasco existen especies vegetales con alto contenido de almidón que no han sido explotadas como agentes coadyuvantes en el tratamiento de aguas por lo que su uso no implicaría un riesgo a la seguridad alimentaria; tal es el caso de la malanga, de la yuca y del plátano. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de mezclas de almidones modificados de malanga (*Colocasia esculenta*) con sulfato de aluminio (fosfatado, entrecruzado y pregelatinizado), en la remoción de turbiedad y color con el propósito de disminuir el uso de agentes coagulantes metálicos y como una alternativa para su uso como agentes floculantes.

2 Metodología

2.1 Obtención del almidón nativo de malanga

El almidón nativo de malanga (ANm) se obtuvo empleando el método de Aparicio (2003). Se molieron 30 kg de fruto en una licuadora a prueba de impacto hasta su completa desintegración, mezclando con agua hasta tres veces su volumen a 40 °C. La mezcla obtenida se centrifugó, separando la fibra del filtrado. El filtrado se dejó reposar durante 48 h en refrigeración. Al cabo de 2 días se decantó el sobrenadante y la pasta obtenida se secó en una estufa Novatech Modelo HS60 AID® a 50 °C por 24 h. Se pulverizó en un molino IKA Werke M20® y se almacenó en bolsas de polietileno.

2.2 Síntesis de almidones modificados

A partir del almidón nativo de malanga, se obtuvieron los almidones modificados según la técnica de Lim y Seib (1993). Para obtener el almidón entrecruzado (AEm) se parte de la síntesis del trimetafosfato de sodio (STMP). Para obtener el STMP se calentó fosfato de sodio monobásico (NaH_2PO_4) en una mufla a 530 °C por 5 h. Se disolvieron 21 g de STMP, en una solución de 300 mL de agua destilada con 15 g de sulfato de sodio. Se agregaron 300 g de almidón nativo (base seca), mezclando con ácido clorhídrico y agua destilada hasta ajustar a un pH de 6 y un peso de 667 g. La mezcla obtenida se secó a 40 °C por 15 h en la estufa. La pasta seca, se lavó tres veces con 300 mL de agua destilada ajustando el pH a 6.5 y decantando cada vez. La pasta final se secó nuevamente a 40 °C por 15 h, se pulverizó en el molino y se almacenó en bolsas de polietileno.

Por su parte, para el almidón fosfatado (AFm) se utiliza STMP y tripolifosfato de sodio (STPP). La síntesis del STPP se obtuvo calentando Na_2HPO_4 en una mufla a 530 °C durante 5 h. Luego se disolvieron 15 g de STMP y 6 g de STPP, en una solución de 300 mL de agua destilada con 15 g de sulfato de sodio. Se agregan 300 g de almidón nativo (base seca), mezclando con ácido clorhídrico y agua destilada hasta ajustar a un pH de 6 y un peso de 667 g. La mezcla obtenida se secó a 40 °C por 15 h en la estufa. Para efecto de la fosforilación, la pasta seca fue calentada por 2 h a 130 °C en una estufa de convección forzada. La pasta se enfrió a temperatura ambiente, se diluyó en 350 mL de agua destilada y el pH se ajustó a 6.5 realizando tres lavados con 600 mL de agua destilada cada uno. Se dejó reposar durante una hora. Se decantó y la pasta obtenida se secó a 40 °C por 15 h, se pulverizó en el molino y se almacenó en bolsas de polietileno. Finalmente, el almidón pregelatinizado (APgm) se obtuvo de acuerdo a la técnica de Aparicio (2003); para ello se pesaron 30 g de almidón nativo y se adicionó 100 mL de agua destilada. Se agitó la mezcla y se calentó en baño María a 85 °C durante 15 min. El almidón gelatinizado se secó a 50 °C durante 15 h, se pulverizó y almacenó en bolsas de polietileno.

2.3 Preparación de las muestras sintéticas de agua superficial

Se utilizó un suelo tipo vertisol recolectado en la ranchería Buena Vista del municipio de Cárdenas, Tabasco, México, en la cuenca baja del Río Blasillo con coordenadas UTM 406447 E y 2001730 N. El

suelo vertisol, predominantemente arcilloso, se tamizó con una abertura de malla de 45 μm (tamiz No. 325, escala ASTM E-11). Para preparar muestras de agua superficial con una turbiedad inicial de 400 ± 20 UNT, se mezclaron 20 L de agua purificada en un recipiente con aprox. 13 g de suelo arcilloso. Se midió la turbiedad y *color* por triplicado. Para medir la turbiedad se utilizó un turbidímetro marca LaMotte® con precisión de 0.01 UNT (EPA 1983, NOM-041-SSA1 1993, ISO 1990). El color se midió en el mismo equipo con una precisión de 0.1 UC (método estándar 2120B).

2.4 Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio

Para obtener la dosis óptima de sulfato de aluminio se realizó el proceso de coagulación-floculación en un equipo de prueba de jarras Phipps & Bird®, modelo PB700. Se colocó un litro de muestra en cada una de las jarras, con turbiedades iniciales de 400 ± 20 UNT. En la preparación de la solución del sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$, 98.6%, J.T. Baker, New Jersey, USA) se pesaron 10 g y se diluyeron en un litro de agua destilada. Por su parte, cada suspensión de almidón se preparó pesando 0.5 g suspendiendo en 1 L de agua destilada. Con el propósito de determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio, se realizaron pruebas de jarras utilizando concentraciones de 35, 40, 45, 50, 55 y 60 mg/L de sulfato de aluminio. Se realizó un mezclado rápido a 120 rpm durante 1 min para la desestabilización de las partículas coloidales, un mezclado lento a 20 rpm por 20 min para la formación de los flóculos y finalmente 30 min de reposo (sedimentación). Las dosificaciones se realizaron por el método ASTM D2035-08 (2008). Para reducir los errores experimentales y aplicar las pruebas estadísticas, los experimentos se realizaron por triplicado. Se midió la turbiedad, color y pH, con un equipo HI-9828 (Hanna Instruments, Woonsocket, USA).

2.5 Determinación de la dosis óptima de mezclas coagulantes/floculantes

Para la obtención de la dosis óptima de las mezclas coagulantes se tomó como base la mejor dosis óptima obtenida del sulfato de aluminio durante la prueba de jarras. Se realizaron mezclas de sulfato de aluminio con las suspensiones de almidones nativo, fosfatado, entrecruzado y pregelatinizado. Las proporciones se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Composiciones utilizadas en las mezclas de agentes coagulantes/floculantes

Mezcla	Composición (%)		Concentración (mg/L)	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	Almidón	Al ₂ (SO ₄) ₃	Almidón
1	100	0	50	0
2	0	100	0	50
3	50	50	25	25
4	70	30	35	15
5	30	70	15	35

Se determinó la dosis óptima de cada uno de los almidones para evaluar la eficiencia de remoción de la turbiedad y color. Los experimentos se realizaron por triplicado. Al final de los experimentos, se determinaron turbiedad, color y pH.

3 Resultados y discusión

3.1 Dosificación óptima de sulfato de aluminio

Para la obtención de la dosis óptima de sulfato de aluminio, se realizaron ensayos de pruebas de jarra utilizando diferentes concentraciones (Tabla 2). Aunque todas las concentraciones permitieron una remoción aceptable de turbiedad, se consideró como dosis óptima a aquella que consiguió la máxima remoción de turbiedad; es decir, 50 mg/L. A esta dosis óptima el pH final fue de 4.2. Es importante señalar que esta dosis fue la referencia para realizar las mezclas de sulfato de aluminio con los almidones, además concentraciones menores a 35 mg/L de sulfato no alcanzan remociones mayores al 75%, mientras que concentraciones a 60 mg/L ocasionan una reducción significativa del pH, menores a 4.

La dosis óptima de Al₂(SO₄)₃ obtenida (50 mg/L) fue el punto de referencia para reducir gradualmente la concentración de sulfato de aluminio, realizando las mezclas del agente coagulante con el almidón nativo (AS-ANm) y con los tres almidones modificados de malanga: fosfatado, entrecruzado y pregelatinizado (AS-AFm, AS-AEm y AS-APm, respectivamente). De acuerdo a los resultados mostrados en la Fig. 1, el Tratamiento AS-ANm presentó la mayor remoción de turbiedad con un valor del 95%, y corresponde a una concentración de 15 mg/L de almidón nativo combinado con 35 mg/L de Al₂(SO₄)₃.

Tabla 2. Remoción porcentual de turbiedad (promedio ± error estándar) con la dosificación de sulfato de aluminio.

Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	Remoción de turbiedad (%)
35	90.9±1.5
40	88.7±1.6
45	88.8±1.0
50	91.2±4.2
55	89.0±1.4
60	90.6±1.7

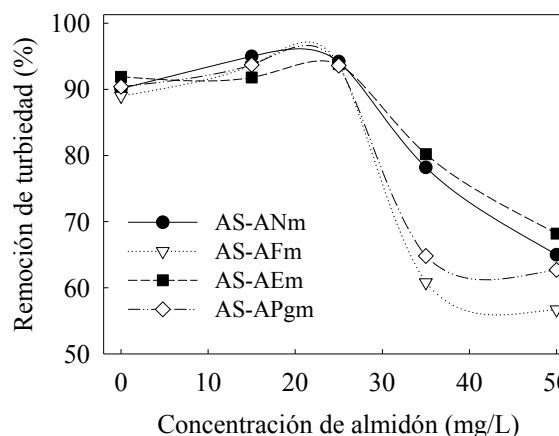


Fig. 1. Remoción de turbiedad utilizando mezclas de sulfato de aluminio y almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) para los cuatro tratamientos estudiados.

Es importante notar que hubo diferencias pequeñas con las otras mezclas, sobre todo con AS-AEm en todo el rango de dosificación. Por su parte, la máxima remoción de color (99.2%) fue alcanzada

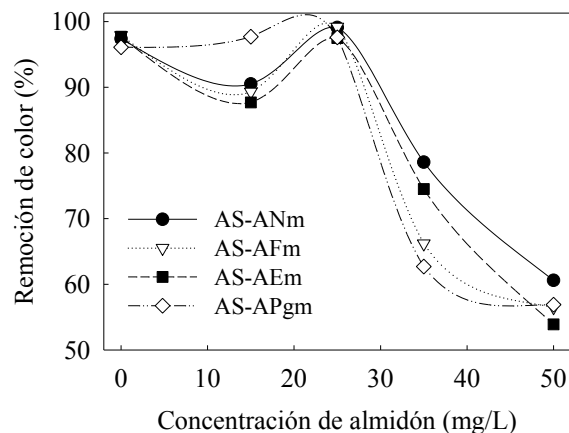


Fig. 2. Remoción de color utilizando mezclas de sulfato de aluminio y almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) para los cuatro tratamientos estudiados.

con el Tratamiento AS-AFm, equivalente a una concentración de 25 mg/L de almidón fosfatado de malanga en combinación con 25 mg/L de sulfato (Fig. 2).

Los resultados obtenidos en este estudio referentes a la remoción de turbiedad son comparables con los estudios realizados por Solís y col. (2012) ya que utilizó mezclas de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ con almidón de yuca para clarificación de aguas superficiales, obteniendo una remoción del 98.7%. Por su parte, Laines y col. (2008) empleando mezclas de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ con almidón de plátano para muestras de lixiviado de un relleno sanitario, en donde la remoción de turbiedad fue del 97.4%. En este estudio se obtuvieron remociones de turbiedad del 95%, utilizando mezclas de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ con almidones de malanga (*Colocasia esculenta*), para muestras sintéticas de agua superficial con turbiedades de 400 UNT. El pH inicial de las muestras de agua fue de 7.0 y después de la dosificación de sulfato de aluminio, el pH mostró pequeñas variaciones, con valor promedio final de 6.5 unidades. Los valores de pH obtenidos en los diferentes tratamientos variaron entre 6.3 y 6.8. Estos resultados no concuerdan con los reportados por Xing y col. (2005) debido a la diferente naturaleza del agua tratada y a las concentraciones utilizadas.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación sugieren que la aplicación de agentes coadyuvantes basados en almidones modificados de malanga

(*Colocasia esculenta*) en combinación con agentes convencionales como el sulfato de aluminio, aunque muestran un potencial significativo para la remoción de turbiedad y de color en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas, no es necesario ya que con el almidón nativo se logran remociones de turbiedad similares; sin embargo, deben considerarse futuras investigaciones ya que el propósito de la modificación del almidón nativo es incrementar la vida de anaquel de este polímero orgánico. El uso de estos agentes naturales permitiría reducir las cantidades de sulfato de aluminio típicamente dosificadas en las plantas de tratamiento de agua, además de ser productos biodegradables que no impactan al ambiente. Particularmente en Tabasco, se procesa 8645 L/s de agua potable, lo que en temporada de lluvia implica un consumo de 37 Ton/d de sulfato de aluminio. Considerando la dosis óptima de la mezcla con AS-ANm, el consumo se reduce en 11 Ton/d. Por lo anterior, se puede concluir que la aplicación de estos polímeros orgánicos es técnicamente viable como agentes coadyuvantes en el proceso de coagulación-floculación con fines de potabilización. Además, el uso de estos agentes impulsaría la actividad agrícola del sureste mexicano.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, especialmente por el financiamiento otorgado a través del Programa de Fomento a la Investigación y Consolidación de los Cuerpos Académicos (PFICA) Convocatoria 2011, Proyecto No. UJAT 2011 CA07-20.

Referencias

- Anastasakis, K., Kalderis, D., Diamadopoulos, E. (2009). Flocculation behaviour of mallow and okra mucilage in treating wastewater. *Desalination* 249, 786-791.
- Aparicio, M. (2003). *Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de yuca (Manihot esculenta Crantz), camote (Ipomeea batata Lam) y plátano (Musa cavendish)*. Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Antonio-Estrada, C., Bello-Pérez, L.A., Martínez-Sánchez, C.E., Montañez-Soto, J.L., Jiménez-Hernández, J. y Vivar-Vera, M.A. (2009).

- Enzymatic production of maltodextrins from taro (*Colocasia esculenta*) starch. *CyTA-Journal of Food* 7, 233-241.
- ASTM D2035-08 (2008). *Standard practice for coagulation-flocculation jar test of water*. American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, USA.
- Beltrán-Heredía, J. y Sánchez-Martín, J. (2009). Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. *Desalination* 249, 353-358.
- Bhuptawat H., Folkard G. K. y Chaudhari S. (2007). Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. *Journal of Hazardous Materials* 142, 477-482.
- Bidhendi, G.N., Shahriari, T. y Shahriari, S. (2009). Plantago ovata efficiency in elimination of water turbidity. *Journal of Water Resource and Protection* 1, 90-98.
- Bolto, B. y Gregory J. (2007). Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Research* 41, 2301-2324.
- Bratskaya, S., Schwarz, S. y Chervonetky, D. (2004). Comparative study of humic acids flocculation with chitosan hydrochloride and chitosan glutamate. *Water Research* 38, 2955-2961.
- Broin, M., Santaella, C., Cuine, S., Kokou, K., Peltier, G. y Joët, T. (2002). Flocculent activity of a recombinant protein from *Moringa oleifera* Lam seeds. *Applied Microbiology and Biotechnology* 60, 114-119.
- Dendy, D.A.V. (2001). Composite and alternative flours. En: *Cereals and Cereal Products. Chemistry and Technology*, (D. A. Dendy y B. J. Dobraszczyk eds.) Pp. 263-275, Aspen Publishers Inc., Maryland.
- Environmental Protection Agency, EPA (1983). Turbidity (nephelometric) methods for chemicals analysis of water and wastes. Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring as Supporting Laboratory. Office of Research and Development EUA, Cincinnati.
- Fabris, R., Chow, C.W.K. y Drikas, M.E. (2010). Evaluation of chitosan as a natural coagulant for drinking water treatment. *Water Science and Technology* 61, 2119-2128.
- FAO y WHO. (2002). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Vol. 916WHO Technical Report Series.
- Food and Agriculture Organization, FAO (2014). Recurso electrónico: <http://apps.fao.org/faostat>, último acceso: 16 de enero de 2014.
- Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F.J., Flores-Huicochea, E., Núñez-Santiago, M.C., González-Soto, R.A., Bello-Pérez, L.A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica de la Sociedad Venezolana* 55, 86-90.
- Folkard, G., Sutherland, J., Shaw, R. (2001) Water clarification using *Moringa oleifera* seed coagulant. En: *The miracle tree. The multiple attributes of moringa* (L.J. Furglie ed.) Church World Service, Dakar, Senegal, Pp. 29-43.
- Ghebremichael, K., Hutman, B. (2004). Alum sludge dewatering using *Moringa oleifera* as conditioner. *Water, Air and Soil Pollution* 158, 153-167.
- Ghebremichael, K.A., Gunaratna, K.R., Dalhammar, G. (2006). Single step ion exchange purification of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *Applied Microbiology and Biotechnology* 70, 526-532.
- Jeon, J.R., Kim, E.J., Kim, Y., Murugesan, K., Kim, J.H. y Chang Y.S. (2009). Use of grape seed and its natural polyphenol extracts as a natural organic coagulant for removal of cationic dyes. *Chemosphere* 77, 1090-1098.
- Kalogo, Y., M'Bassiguié, S.A. y Verstraete, W. (2001). Enhancing the start-up of a UASB reactor treating domestic wastewater by adding a water extract of *Moringa oleifera* seeds. *Applied Microbiology and Biotechnology* 55, 644-651.
- Katayon, S., Ng, S.C., Megat Johari, M.M.N. y Abdul Ghani L.A. (2006). Preservation of coagulation efficiency of *Moringa oleifera*,

- a natural coagulant. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 11, 489-495.
- Kumari, P., Sharma, P., Srivastava, S., Srivastava, M.M. (2005) Arsenic removal from the aqueous system using plant biomass: a bioremediated approach. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 32, 521-526.
- Laines-Canepa, J.R., Goñi-Arevalo, J.A., Adams-Schroeder, R.H. y Camacho-Chiu, W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia* 33, 22-28.
- Lim, S., Seib, P.A. (1993). Preparation and pasting properties of wheat and corn starch phosphates. *Cereal Chemistry* 70, 137-144.
- Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E. y Fernández, N. (2003). Performance of *Cactus lefaria* to use like coagulating in the water clarification. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* 26, 27-33.
- Mishra, A. y Bajpai, M. (2005). Flocculation behaviour of model textile wastewater treated with a food grade polysaccharide. *Journal of Hazardous Materials B118*, 213-217.
- Oates, C.G. (1997). Towards an understanding of starch granule, structure and hydrolysis. *Trends in Food Science and Technology* 81, 375-382.
- Okuda, T., Baes, A.U., Nishijima, W. y Okada, M. (1999). Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Research* 33, 3373-3378.
- Okuda, T., Baes, A.U., Nishijima, W. y Okada, M. (2001). Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Research* 35, 405-410.
- Onwueme, I. (1999). Taro cultivation in Asia and the Pacific. *Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok*.
- Pérez-Sicairos, S., Morales-Cuevas, J.B., Félix-Navarro, R.M., Hernández-Calderón, O.M. (2011). Evaluation of the electro-coagulation process for the removal of turbidity of river water, wastewater and pond water. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10, 79-91.
- Qudsieh, I.Y., I-Razzi, A.F., Kabbashi, N.A., Mirghani, M.E.S., Fandi, K.G., Alam, M.Z., Muyibi, S.A. y Nasef, M.M. (2008). Preparation and characterization of a new coagulant based on the sago starch biopolymer and its application in water turbidity removal. *Journal of Applied Polymer Science* 109, 3140-3147.
- Romero-Bastida, C.A., Zamudio-Flores, P.B., Bello-Pérez, L.A. (2011). Antimicrobianos en películas de almidón oxidado de plátano: Efecto sobre la actividad antibacteriana, microestructura, propiedades mecánicas y de barrera. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10, 445-453.
- Sandoval-Arreola, M.M. (2013). *Desarrollo de un polímero natural para el tratamiento de aguas superficiales*. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
- Sciban, M., Klasnja, M., Antov, M. y B. Skrbic. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology* 100, 6639-6643.
- Shogren, R. (2009). Flocculation of kaolin by waxy maize starch phosphates. *Carbohydrate Polymers* 76, 639-644.
- Sincero, A.P., Sincero, G.A. (2003). *Physical-chemical treatment of water and wastewater*. CRC Press, First Ed., Boca Raton, Florida.
- Solís-Silván, R., Laines-Canepa, J.R. y Hernández-Barajas, J.R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28, 229-236.
- Sonni, L., Oyewole, O.B., Adebawale, A.A. y Adebayo, K. (2003). Current trends in the utilization of roots and tubers for sustainable development. *Food Based Approaches for a Healthy Nutrition* 11, 23-28.
- Valeriano, J., Chamorro, M., Rodrigo, A. (2013) Polielectrólitos Orgánicos Naturales en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Universidad Peruana Unión. *Revista de Investigación Universitaria* 2, 88-95.
- Xing, G., Zhang, S., Ju B, Yang J. (2005). *Recent advances in modified starch as flocculant*. The

Proceedings of the 3rd International Conference on functional molecules, DaLian, China.

You, L., Lu, F., Qiao, Z. y Yin, Y. (2009). Preparation and Flocculation properties of cationic starch/chitosan crosslinking-copolymer. *Journal of Hazardous Materials* 172, 38-45.

Zamudio-Flores, P.B. y Bello-Pérez, L.A. (2013). Elaboration and characterization of glycoprotein films obtained with the Maillard's reaction using acetylated starch and whey protein isolated. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 12, 401-413.