



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas



**“VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL DE LA APLICACIÓN DE
AGENTES DE ORIGEN VEGETAL EN EL PROCESO DE
COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN AGUAS
SUPERFICIALES”**

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

Tesis de Doctorado

Para obtener el grado de:

Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de
Sistemas Tropicales

Presenta:

MIPA. Rocío López Vidal

Directores:

Dr. José Ramón Laines Canepa
Dr. José Roberto Hernández Barajas

Villahermosa, Tabasco, México

Febrero, 2022



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



2022 **Ricardo Flores**
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 31 de Enero de 2022

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
PRESENTE**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la **C. ROCÍO LÓPEZ VIDAL** egresada del Doctorado en **CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Doctorado denominado: **“VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL DE LA APLICACIÓN DE AGENTES DE ORIGEN VEGETAL EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES”**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



DIRECCIÓN



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

ENERO 31 DE 2022

**C. ROCÍO LÓPEZ VIDAL
PAS. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y
MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: **“VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL DE LA APLICACIÓN DE AGENTES DE ORIGEN VEGETAL EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES”**, asesorado por el Dr. José Ramón Laines Canepa y Dr. José Roberto Hernández Barajas, cuyo jurado está integrado por el Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez, Dra. Claudia Elena Zenteno Ruiz, Dr. José Ramón Laines Canepa, Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dr. José Roberto Hernández Barajas, Dr. José Luis Martínez Sánchez y Dr. Gaspar López Ocaña.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

CARTA AUTORIZACIÓN

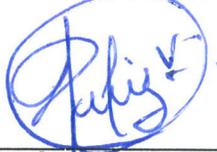
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de doctorado denominado: **“VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL DE LA APLICACIÓN DE AGENTES DE ORIGEN VEGETAL EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 31 días del mes de enero de dos mil veintidós.

AUTORIZO



ROCÍO LÓPEZ VIDAL



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ciencias
Biológicas

Jefatura de Posgrado



Villahermosa, Tabasco a 28 enero de 2022.

MIPA. ROCÍO LÓPEZ VIDAL

EST. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA
Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados en el PNPC-CONACyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento de tesis. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, la Coordinadora Académica del DEMST, realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: ***"Viabilidad técnica y ambiental de la aplicación de agentes de origen vegetal en el proceso de coagulación-floculación en aguas superficiales"***.

OBSERVACIONES:

1. Existe un índice de similitud del 9% de coincidencias, porcentaje considerado bajo. El índice de similitud, corresponden en 2% a las fuentes primarias de citación de internet específicamente, docplayer.es, y el 7% restante distribuido en -1% en revistas de ingeniería química, bibliotecas virtuales y repositorios institucionales. Por lo que confirma la originalidad de la investigación

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: posgrado.dacbiol@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



**División
Académica
de Ciencias
Biológicas**

Jefatura de Posgrado



Ricardo
2022 Flores
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

2. Se adjunta, el reporte de revisión de la tesis a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
3. Finalmente, se le solicita a la MIPA. López Vidal, integrar en la versión final de tesis, este oficio e informe de originalidad, realizado por el Turnitin iThenticate

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”


DR. ALLAN KEITH CRUZ RAMÍREZ
JEFATURA DE POSGRADO



C.C.P. Dr. José Ramón Laines Canepa. Director de tesis
Dr. José Roberto Hernández Bajaras. Co-Director de tesis
Archivo





AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por el don divino de la vida, por darme la sabiduría e iluminarme para tomar las mejores decisiones en cada paso que doy, por la fortaleza para no desfallecer en los momentos difíciles y darme la perseverancia para cumplir las metas en mi vida profesional y familiar. Por todas las bendiciones recibidas hasta este momento... ¡Gracias!

A la **Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas**, por la oportunidad de formarme en este programa de estudio. Por todo el apoyo brindado, para hacer uso de las instalaciones, laboratorios y equipamiento, para la realización de esta investigación.

A mis directores de tesis, **Dr. José Ramón Laines Canepa** y **Dr. José Roberto Hernández Barajas**, Por ser la guía para realizar esta investigación, por compartir sus conocimientos y experiencias, por contribuir con sus valiosas sugerencias para enriquecer este estudio, por su paciencia, apoyo y acompañamiento, ¡Gracias!

Al **Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez**, por todas las facilidades brindadas en el Laboratorio de Acuicultura Tropical, para la realización de los experimentos con las especies tilapia y tenguayaca. Por su invaluable apoyo y gestión en todo momento, para ver la culminación de esta investigación... ¡Muchas gracias!

Al Comité sinodal, **Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez**, **Dra. Claudia Elena Zenteno Ruíz**, **Dr. José Ramón Laines Canepa**, **Dr. Raúl Germán Bautista Margulis**, **Dr. José Roberto Hernández Barajas**, **Dr. José Luis Martínez Sánchez** y **Dr. Gaspar López Ocaña**, por el tiempo empleado en la revisión de esta investigación, por sus acertadas observaciones y sugerencias, así como sus valiosas contribuciones para mejorar el contenido de este estudio.



A la **Dra. María Adelfa Aparicio Trápala**, por abrirme las puertas en su laboratorio y compartir sus amplios conocimientos en el estudio de los almidones, por su disponibilidad de tiempo en las largas jornadas de trabajo, por sus asesorías acertadas, las cuales permitieron el desarrollo de esta investigación, por la gestión realizada para mi estancia de investigación en el Cinvestav de Querétaro, por su invaluable amistad... ¡Muchas gracias!

Al **M. en A. Arturo Enrique Sánchez Maglioni**, por su invaluable apoyo para facilitar el acceso a las instalaciones de la DACBiol, y poder realizar todas las actividades experimentales necesarias en horarios fuera de clases, porque así lo requería este trabajo de investigación, por su disponibilidad incondicional... ¡Muchas gracias!

A la **MCA. María de Jesús Contreras García** y al **Dr. Rudy Solís Silván**, por su valioso apoyo en el momento requerido y su disponibilidad cuando la necesité para la realización de este trabajo de investigación, por su invaluable amistad.

A **mi esposo Roberto**, por estar siempre conmigo en todo momento, por su comprensión, paciencia y amor, a pesar de las adversidades presentadas a lo largo de este proceso. Por su apoyo incondicional en cada una de mis decisiones, para la realización de este trabajo, por todas sus atenciones... ¡Muchas gracias Chelito!

A **mis hijos, Alan Roberto, Fernanda Rocío y Ana Gabriela**, por ser mi motivación día a día, por involucrarse en el desarrollo, seguimiento y terminación de mi tesis, por su paciencia y cariño para ver culminada esta meta, nuestra meta... ¡Gracias!



A **mis padres, Sr. Cristóbal López Gómez y Sra. Oralia Vidal Reyes**, por su cariño, su amor, apoyo incondicional y estar pendientes de mí todo el tiempo, fomentando siempre estar juntos y seguir adelante. A **mis hermanas, Alma Patricia y Maribel** por su cariño y apoyo en los momentos que más las necesité. A **mi compadre, Javier Alejandro**, por animarme siempre a salir adelante, por su apoyo y disponibilidad incondicional. A mi prima **Magnolia**, por sus atenciones y apoyo brindado durante la etapa final de esta tesis.

A **Todos**, los que de alguna manera contribuyeron para ver realizado este trabajo de investigación, Coordinación de Investigación y Posgrado, Jefatura de Posgrado, Doña Mary Ocaña Tessman, los técnicos de laboratorio, personal de biblioteca, intendencia, mantenimiento, amigos, profesores, compañeros de trabajo, por su colaboración y amistad, ¡Muchas gracias!



DEDICATORIAS

A **Dios**, por la oportunidad de tener una vida plena y feliz, lo que me ha permitido llegar hasta donde estoy, gracias Dios por haberme dado la oportunidad de formar una familia maravillosa.

Dedico especialmente esta tesis, con mucho amor, a mi esposo Robert y a mis hijos Alan, Fer y Gaby, por su comprensión, paciencia, por todo el esfuerzo y lo que nos tocó vivir durante mis estancias y el desarrollo de esta investigación, por estar siempre junto a mí, ¡Los amo con todo mi corazón!

A mis padres, quienes me dieron la vida, les dedico esta tesis como una muestra de cariño y amor, por su apoyo incondicional, su invaluable amor, fomentar siempre la fortaleza y dedicación para continuar, y por hacerme sentir su orgullo en mis momentos de éxito y superación. Por esperar tanto como yo este momento, que significa mucho para mí, y que ellos lo tienen muy presente, ¡Les amo y los llevo siempre en mi corazón!

Finalmente, me dedico esta tesis como una muestra de superación personal, porque se me presentaron momentos difíciles que no me permitían avanzar, creí que nunca iba a terminar, pero mi fortaleza, optimismo y mi fé en Dios, hoy me demuestran que con esfuerzo y dedicación se pueden lograr nuestras metas. Que cuando se quiere, se puede. Que nosotros como seres humanos somos los únicos responsables de poner nuestros límites para lograr nuestros sueños, de determinar y decidir hasta dónde queremos llegar, por todo **¡Gracias Dios!**



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.3 OBJETIVOS	7
1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO	8
1.5 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	9
1.6 REFERENCIAS.....	10
CAPITULO II	12
2.1 EVALUACIÓN DE ALMIDONES DE MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i>) COMO AGENTES COADYUVANTES EN LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD EN PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA 13	
CAPITULO III	26
3.1 MEZCLAS COAGULANTES DE ALMIDONES MODIFICADOS DE BANANO (<i>Musa AAA</i>) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES	27
CAPITULO IV	53
4.1 BIOEVALUACIÓN DE UN EFLUENTE TRATADO CON MEZCLAS DE ALMIDÓN DE MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i>) Y SULFATO DE ALUMINIO EMPLEANDO ALEVINES DE TILAPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>) Y TENGUAYACA (<i>Petenia splendida</i>) COMO ESPECIES INDICADORAS.....	54
CAPITULO V	74
5.1 CONCLUSIONES GENERALES	75
REFERENCIAS.....	76



RESUMEN

La coagulación-floculación es uno de los procesos más importantes en el tratamiento de aguas y aguas residuales. El sulfato de aluminio es el coagulante más utilizado con mayor eficiencia para la remoción de turbiedad y color. Los coagulantes naturales han sido objeto de interés como una alternativa de tratamiento viable, tal es el caso de los almidones. El objetivo de esta investigación consistió en evaluar mezclas coagulantes de sulfato de aluminio con almidones nativos y almidones modificados de banano (*Musa AAA*) y malanga (*Colocasia esculenta*), para la remoción de turbiedad y color. Asimismo, evaluar el impacto de un efluente de agua sintética, tratado con mezclas de almidón pregelatinizado (modificado) combinado con sulfato de aluminio, utilizando bioensayos a base de crías de peces como especies indicadoras: una especie resistente, tilapia (*Oreochromis niloticus*) y la especie nativa, mojarra tenguayaca (*Petenia splendida*). La técnica de prueba de jarras fue empleada para obtener la mejor dosis de sulfato de aluminio. Las concentraciones de sulfato de aluminio evaluadas fueron 35, 40, 45, 50, 55 y 60 mg/L. La concentración de 50 mg/L de aluminio fue la que permitió mejor remoción de turbiedad y color, y se utilizó como base para las mezclas coagulantes con los almidones modificados. Los valores iniciales de turbiedad y color de las muestras de aguas sintéticas fueron 415 UTN y 844 UC Pt-Co, respectivamente. Los resultados indicaron que la mejor dosis de las mezclas coagulantes fue la de 25 mg/L de sulfato de aluminio con 25 mg/L de almidón pregelatinizado de malanga con una remoción de turbiedad y color de 93% y 98%, respectivamente. Esta mezcla permitió clarificar un agua sintética, la cual se utilizó para la realización de dos experimentos con organismos acuáticos. Las crías de peces de tilapia y tenguayaca se expusieron por 30 días, en cinco tratamientos con diferentes diluciones. Los valores de pH de las diluciones durante el desarrollo del experimento variaron en el intervalo de 6.5 a 7, mientras que la temperatura entre 24 y 27 °C. Los resultados de los experimentos demostraron que los almidones de



malanga con sulfato de aluminio, no causan efectos negativos en el crecimiento y sobrevivencia de estos peces. Finalmente, se puede concluir que las mezclas coagulantes de almidones modificados de malanga con sulfato de aluminio, además de reducir las cantidades de aluminio en el tratamiento de las aguas, no causan efectos adversos en algunos organismos, ni en los ecosistemas acuáticos.

Palabras claves: coagulación-floculación, turbiedad, coagulantes naturales, almidones modificados, *Colocasia esculenta*.



ABSTRACT

Coagulation-flocculation is one of the most important processes in water and wastewater treatment. Aluminum sulfate is the most used coagulant with the highest efficiency for the removal of turbidity and color. Natural coagulants have been of interest as a viable treatment alternative, such is the case of the starches. The objective of this research was to evaluate mixtures of aluminum sulfate coagulants with native starches and modified starches from banana (*Musa AAA*) and taro (*Colocasia esculenta*), for the removal of turbidity and color. In addition, to evaluate the impact of a synthetic water effluent, treated with mixtures of pregelatinized (modified) starch combined with aluminum sulfate, using bioassays based on fish fry as indicator species: a resistant species, Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and the native species, mojarra tenguayaca (bay snook) (*Petenia splendida*). The jar test technique was used to obtain the best aluminum sulfate dose. The aluminum sulfate concentrations evaluated were 35, 40, 45, 50 and 60 mg/L. The concentration of 50 mg/L of aluminum was the one that allowed the best removal of turbidity and color, and was used as the basis for the coagulant mixtures with the modified starches. The initial turbidity and color values of the synthetic waters sample were 415 NTU and 844 UC Pt-Co, respectively.

The results indicated that the best dosing of the coagulant mixtures was 25 mg/L aluminum sulfate with 25 mg/L pregelatinized malanga starch with a turbidity and color removal of 93% and 98%, respectively. This mixture allowed the clarification of synthetic water for two experiments with aquatic organisms. Tilapia and tenguayaca fish fry were exposed for 30 days, in five treatments with different dilutions. The pH values of the dilutions during the development of the experiment varied in the range of 6.5 to 7, while the temperature ranged between 24 and 27 °C. The results of the experiments showed that taro starches with aluminum sulfate do not cause negative effects on the growth and survival of these fish. Finally, it can be concluded that the coagulating mixtures of modified taro starches with aluminum sulfate, in addition to



reducing the amounts of aluminum in water treatment, do not cause adverse effects on some organisms or aquatic ecosystems.

Keywords: coagulation-flocculation, turbidity, natural coagulants, modified starches, *Colocasia esculenta*.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso esencial para la vida en nuestro planeta. Es un recurso renovable que se recicla naturalmente con el ciclo hidrológico. Actualmente, la disponibilidad se ha visto limitada por diversas actividades. Las actividades agroindustriales han generado un incremento en el consumo de agua en comparación con la utilizada por la población, por lo que se ha aumentado el volumen de aguas residuales con alta carga de contaminantes (Teh *et al.*, 2014; Kopytko *et al.*, 2014). Las descargas de aguas residuales municipales e industriales y la erosión de los ríos generan presencia de material suspendido, partículas coloidales y arcillas en las aguas superficiales (Adams & Mulaba, 2014). Esto se agudiza en los períodos de lluvias en los que se generan escurrimientos, lo cual causa concentraciones importantes de turbiedad y color (Ali *et al.*, 2010; Malik, 2018). Además de encarecer el tratamiento de las aguas, las altas concentraciones de turbiedad impactan negativamente en la estructura y comportamiento de la vida y ecosistemas acuáticos (Adams & Mulaba, 2014).

La coagulación-floculación es el proceso más antiguamente utilizado en el tratamiento de las aguas superficiales para su clarificación. Consiste en agregar coagulantes para desestabilizar las cargas negativas de las partículas suspendidas y coloidales, con el fin de provocar la floculación. Esta promueve la aglomeración de partículas para la formación de flóculos de gran tamaño y poder sedimentar (Muthuraman & Sasikala, 2014). El sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, es el coagulante inorgánico más utilizado. Aunque el sulfato de aluminio es altamente eficiente en la clarificación del agua, diversos estudios han reportado sus características carcinogénicas, así como provocar diferentes efectos negativos en la salud humana, tales como convulsiones, pérdida de memoria, cólicos abdominales, así como ser el precursor de la enfermedad del Alzheimer (Saravanan *et al.*, 2017, Singh & Saxena, 2020). Debido a lo anterior, los coagulantes naturales han cobrado mayor interés en los tratamientos de agua superficial y residual. Estos han sido utilizados desde hace miles de años y diversos estudios han señalado que se obtienen de



plantas, semillas, frutos, tubérculos, raíces y, en algunos casos, de tejidos animales y vegetales (Saritha *et al.*, 2015). Los coagulantes naturales, principalmente polisacáridos, son considerados ambientalmente amigables en comparación con los coagulantes inorgánicos debido a su biodegradabilidad. Las semillas de sandía han sido utilizadas como coagulante para el tratamiento de agua, debido a que las semillas tienen alto contenido de proteínas, y se atribuye que el agente coagulante activo en las plantas son las proteínas (Muhammad *et al.*, 2015). También, las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) han sido probadas como una alternativa para la remoción de turbiedad en aguas superficiales y residuales (Feria *et al.*, 2020). Por otro lado, el almidón de banano (*Musa AAA*) ha sido propuesto como coadyuvante en el proceso de coagulación de partículas coloidales; presenta una naturaleza no iónica, y puede ser utilizado en el proceso de coagulación-floculación (Aparicio, 2003). Por su parte, la malanga (*Colocasia esculenta*) es un tubérculo que contiene un alto contenido de almidones y es rica en carbohidratos. Los almidones han mostrado ser ayudantes efectivos en el proceso de coagulación-floculación, sin embargo, no se ha encontrado información a detalle sobre el uso de almidones modificados como coagulantes en la remoción de turbiedad en aguas superficiales. El objetivo de esta investigación fue evaluar la viabilidad técnica y ambiental del poder coagulante de mezclas de agentes de origen vegetal con agentes convencionales, sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, combinado con almidones de malanga (*Colocasia esculenta*), así como con almidones de banano (*Musa AAA*) para la remoción de turbiedad y color en el proceso de coagulación-floculación en muestras sintéticas de aguas superficiales. Asimismo, evaluar el impacto de un efluente tratado, en alevines de dos especies de peces, tilapia (*Oreochromis niloticus*) y tenguayaca (*Petenia splendida*). Por otro lado, los resultados de esta investigación permitirán contribuir en el desarrollo de nuevas metodologías para la protección y manejo de los recursos naturales y los procesos ecológicos. En este estudio, se obtuvieron almidones de banano (*Musa AAA*) nativo y modificados, a partir de fruto de desecho que no cumplió con las especificaciones de calidad para ser exportado. Sin embargo, se aprovechó para procesarlo y obtener almidón, el



cual se utilizó como coagulante natural. En el caso de la malanga (*Colocasia esculenta*), se consideró como una opción, ya que es un tubérculo que se cultiva en regiones con clima cálido y húmedo, característico del estado de Tabasco. Asimismo, este estudio está ampliamente relacionado con la línea de generación y aplicación del conocimiento de este programa de doctorado, la cual trata sobre la prevención, diagnóstico y tratamiento de sistemas ambientales, evaluación de contaminantes y tratamiento de aguas. También los resultados de esta investigación permitirán a las instituciones responsables de la administración del recurso hídrico, tales como la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la Unesco (WWAP), entre otras, buscar alternativas que disminuyan la problemática de la contaminación del agua, así como alternativas económicamente viables y amigables con el ser humano y el medio ambiente.



1.2 JUSTIFICACIÓN

Las aguas superficiales son la principal fuente de abastecimiento para el tratamiento de agua potable. Estas generalmente contienen altas concentraciones de sólidos suspendidos y coloidales causantes de la turbiedad y color. La coagulación-floculación es el proceso fisicoquímico utilizado para remover la turbiedad. Los coagulantes más utilizados son las sales de aluminio y de hierro, las cuales actúan con alta eficiencia. Sin embargo, algunos estudios han señalado que el sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, ha provocado serios problemas a la salud en el ser humano y en el medio ambiente. Por lo anterior, los coagulantes naturales se han considerado como una alternativa, ya que no generan efectos adversos a la salud humana ni al medio ambiente, además de ser económica y ecológicamente viables. Estos coagulantes son extraídos de semillas, hojas, frutos, tejidos de plantas y animales; Se han encontrado diversas investigaciones en donde se muestra el uso de estos coagulantes, tal es el caso de los extractos de semilla de frijol común, *Moringa oleifera* (Ravikumar & Sheeja, 2012), semillas de *Tamarindus indica* (Carrasquero *et al.*, 2019) y *Citrullus lanatus* (Singh & Saxena, 2020). Los almidones también han sido utilizados como coagulantes en el tratamiento de aguas y aguas residuales. Dentro de sus ventajas están su renovabilidad, biodegradabilidad y bajo costo, además de no producir grandes cantidades de lodos. El uso del almidón puede ser en su forma nativa o natural y modificada. A la fecha, se han mostrado pocos estudios relacionados con los almidones modificados en el tratamiento de aguas. Con base en lo anterior, surge el interés de evaluar mezclas coagulantes de sulfato de aluminio con almidones nativos y modificados de malanga (*Colocasia esculenta*) y banano (*Musa AAA*), para la remoción de turbiedad y color. Esto coadyuvará a la reducción de la cantidad de aluminio en el tratamiento de aguas. El efluente tratado con los almidones de malanga se evaluará para saber cuál es la mejor mezcla coagulante, empleando crías de dos especies de peces tilapia (*Oreochromis niloticus*) y tenguayaca (*Petenia splendida*). Es importante mencionar el valor científico de la investigación, ya que fortalecerá de manera significativa la línea de



generación y aplicación del conocimiento de este programa de doctorado, que trata sobre prevención, diagnóstico y tratamiento de sistemas ambientales. Asimismo, los efluentes tratados con estas mezclas coagulantes naturales, coadyuvarían en la economía para el tratamiento de aguas superficiales con alta turbiedad. Estos efluentes, podrían ser una alternativa para las comunidades y población que se dediquen a las actividades de acuicultura, sin que se tenga un impacto negativo en la producción de las especies acuáticas mencionadas.



1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad técnica y ambiental de la aplicación de agentes de origen vegetal en el proceso de coagulación-floculación en aguas superficiales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar almidón nativo y modificados de malanga (*Colocasia esculenta*) y de banano (*Musa AAA*).
- Obtener la dosis óptima del sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$.
- Obtener la dosis óptima de las mezclas coagulantes de sulfato de aluminio más almidón nativo, y almidones modificados de banano (*Musa AAA*) que permita la mayor remoción de turbidez.
- Obtener la dosis óptima de las mezclas coagulantes de sulfato de aluminio más almidón nativo, y almidones modificados de malanga (*Colocasia esculenta*) que permita la mayor remoción de turbidez.
- Evaluar el impacto de un efluente tratado con mezclas coagulantes de sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, más almidón de malanga pregelatinizado (APgm) (*Colocasia esculenta*) empleando alevines de dos especies de peces, tilapia (*Oreochromis niloticus*) y tenguayaca (*Petenia splendida*).



1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO

- Las mezclas de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, serán eficientes para la remoción de partículas coloidales en aguas sintéticas preparadas con turbiedad de 415 UTN, en comparación con la dosis óptima de sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$.
- Las mezclas de almidones de banano (*Musa AAA*) subgrupo cavendish con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, serán eficientes para la remoción de partículas coloidales en aguas sintéticas preparadas con turbiedad de 415 UTN, en comparación con la dosis óptima de sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$.
- El efluente tratado no es tóxico para las dos especies de peces: Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y Tenguayaca (*Petenia splendida*).



1.5 ESTRUCTURA DE LA TESIS

El presente trabajo de investigación aborda la evaluación del efecto coagulante de mezclas de sulfato de aluminio combinado con almidones nativos y modificados de malanga (*Colocasia esculenta*) y de banano (*Musa AAA*). Las mezclas coagulantes se utilizaron como alternativas de tratamiento para la remoción de altas concentraciones de turbiedad y color. También incluye la evaluación del impacto de un efluente tratado con mezclas de almidón pregelatinizado (modificado), combinado con sulfato de aluminio (SA) utilizando bioensayos con alevines de peces como especies indicadoras, tilapia (*Oreochromis niloticus*) y la especie de mojarra nativa, tenguayaca (*Petenia splendida*).

El documento está integrado por seis capítulos. El **Capítulo I**, que es el actual, aborda el contexto y fundamentos teóricos de la investigación, el planteamiento del problema, así como la pertinencia de la investigación en este programa de estudio, Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales. Asimismo, se presenta la justificación, objetivos e hipótesis planteados en la investigación. El **Capítulo II** describe la evaluación de mezclas de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) con sulfato de aluminio utilizados como agentes coadyuvantes en la remoción de turbiedad en procesos de potabilización de agua. El **Capítulo III** evalúa la aplicación de mezclas coagulantes combinadas con almidones de Banano (*Musa AAA*) y sulfato de aluminio, para la clarificación de aguas sintéticas con altas concentraciones de turbidez y color. El **Capítulo IV** analiza el efecto de un efluente de agua sintética tratado con mezclas de coagulante sintético combinado con almidón modificado de *Colocasia esculenta*, utilizando bioensayos empleando crías de dos especies de peces, tilapia (*Oreochromis niloticus*) y tenguayaca (*Petenia splendida*) como especies indicadoras. El **Capítulo V** presenta las conclusiones generales de este trabajo de investigación, así como algunas recomendaciones que permitirán continuar con estudios en esta línea de investigación. Y finalmente se muestran las referencias de los fundamentos que sustentan la presente investigación.



1.6 REFERENCIAS

- Adams, F.V., & Mulaba-Bafubiandi, A.F. (2014) Application of rice hull ash for turbidity removal from water. *Physics and Chemistry of the Earth*. 72-75, 73-76.
- Ali, E. N., Muyibi, S. A., Salleh, H. M., Alam, M. Z., Ramlan, M., Salleh, M. (2010). Production of Natural Coagulant from Moringa Oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. *Journal Water Resource and Protection*, 2, 259-266.
- 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 doctoral. Instituto tecnológico de Veracruz*. pp.118-119.
- Carrasquero, S., Martínez, M.F., Castro, M.G., López, Y., Díaz, A. y Colina G. (2019). Remoción de turbidez usando semillas de *Tamarindus indica* como coagulante en la potabilización de aguas. *Revista Bases de la Ciencia*. Vol. 4 No. 1 (19-44).
- Feria, J.J. J.J., Altamiranda, J.E., Soto, C.H. (2020). Uso de semillas de *Tamarindus indica* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Revista Espacios*. Vol. 41(38). Art. 17. ISSN: 0798-1015.
- Kopytko, M.I., Rueda V., E.P. (2014). Application of natural product (Aloe vera) in coagulation-flocculation procedures, for water treatability study. *IJESIT (International Journal of engineering science and innovative technology)*. Volume 3, Issue 3. ISSN: 2319-5967.
- Malik, Q.H. (2018). Performance of alum and assorted coagulants in turbidity removal of muddy water. *Applied Water Science*. 8:40.
- Muhammad I. M., Abdulsalam S., Abdulkarim A. & Bello A. A. (2015). Watermelon seed as potential coagulant for water treatment. *Global Journals of Researches in Engineering: Chemical Engineering*. Vol. 15 Issue 1 Versión. Online ISSN: 2249-4596 & Print ISSN: 0975-5861.
- Muthuraman, G. & Sasikala, S. (2014). Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 20 1727-1731.
- Ravikumar, K. & Sheeja, Ak. (2012). Water clarification using Moringa oleifera seed coagulant. *International Conference on Green Technologies (ICGT), Trivandrum*, 064–070. <https://doi.org/10.1109/ICGT.2012.6477949>.
- Saravanan, J., Priyadharshini, D., Soundammal, A., Sudha, G. & Suriyakala, K. (2017). Wastewater treatment using natural coagulants. *International Journal of Civil Engineering*. Vol. 4, Issue 3.



- Saritha, V., Srinivas, N. & Srikanth V, N.V. (2015). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. Appl. Water Sci. 7:451-460. DOI 10.1007/s13201-014-0262-y
- Singh, P. y Saxena, I. (2020), septiembre 13). Yamuna river water treatment using a natural coagulant of Citrullus lanatus seeds. World Scientific News, 149, 52-63. 2020, septiembre 12, De World Scientific News Base de datos.
- Teh, C.Y., Wu, T.Y. & Juan, J.C. (2014). Potential use of rice starch in coagulation-flocculation process of agro-industrial wastewater: Treatment performance and flocs characterization. Ecological Engineering. 71, 509-519.



CAPITULO II

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

López-Vidal R.; Laines-Canepa J.R.; Hernández-Barajas J.R.; Aparicio-Trápala M.A.

Artículo publicado en la Revista Mexicana de Ingeniería Química Vol. 13, Núm. 3, 2014, pp. 855-863. ISSN: 1665-2738. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.



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

Revista Mexicana de Ingeniería Química

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

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

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

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

Fecha de envío: 08, 02, 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:

* Autor para la correspondencia. E-mail: josra_2001@yahoo.com.mx

Tel. y Fax: 99 33 54 43 08



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*.

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 iones 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 *et al.* (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 tratamiento de agua (Bratskaya *et al.*, 2004) ya que estos agentes naturales son fácilmente biodegradables (Anastasakis *et al.*, 2009). Existe una gran variedad de estudios relacionados con la aplicación de agentes vegetales para la remoción de sólidos suspendidos y coloidales. Okuda *et al.* (2001), Kalogo *et al.* (2001), Folkard *et al.* (2001), Broin *et al.* (2002), Ghebremichael y Hutman, (2004), Kumari *et al.* (2005), Ghebremichael *et al.*, (2006) y Sandoval-Arreola (2013) aplicaron el uso de semillas de *Moringa oleifera*. Sciban *et al.* (2009) y Jeon *et al.* (2009) proponen también el uso de extractos de semillas de castaña, bellota y uva. Anastasakis *et al.* 2009, utilizaron *Malva sylvestris* e *Hibiscus esculentus* (okra). Además, Martínez *et al.* (2003) evaluaron la eficiencia de un extracto de *Cactus lefaria* obteniendo entre un 80 y 90% de remoción de turbiedad. Después, Fabris *et al.* (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 *et al.*, 2004; Romero-Bastida *et al.*, 2011). Laines *et al.* (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, 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 *et al.*, 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 *et al.* (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 *et al.* (2008) utilizaron el almidón de sagú (*Metroxylon sagu*) injertado con poliacrilamida 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 agua 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 (fosfato, 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 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. 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 mencionar 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 $Al_2(SO_4)_3$ 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 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 $Al_2(SO_4)_3$.

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



$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (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

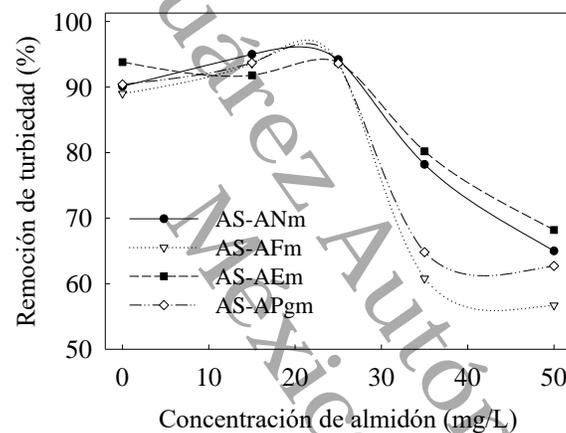


Figura 1. Remoción de turbiedad utilizando mezclas de sulfato de aluminio y almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) para los cuatro tratamientos estudiados.

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

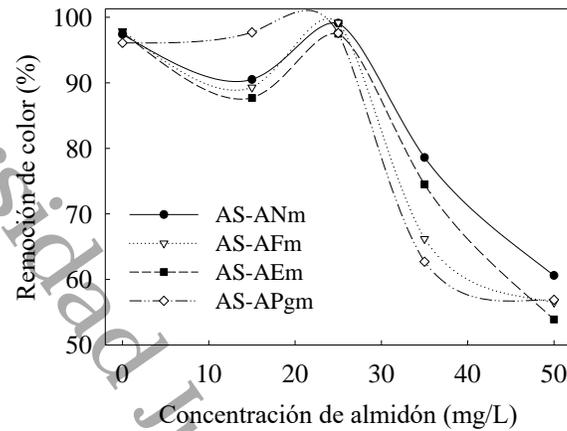


Figura 2. Remoción de color utilizando mezclas de sulfato de aluminio y almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) para los cuatro tratamientos estudiados.

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 $Al_2(SO_4)_3$ 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 $Al_2(SO_4)_3$ 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 $Al_2(SO_4)_3$ 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.

4. 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 turbiedades 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-Heredia, J. y Sánchez-Martín, J. (2009). Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. *Desalination* 249, 353-358.

Bhuptawat H., Folkard G. K. y Chaudari S. (2007). Innovative physic-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 Chervonetsky, 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. 916 WHO 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 bioremedial 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., Adebowale, 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.



CAPITULO III

MEZCLAS COAGULANTES DE ALMIDONES MODIFICADOS DE BANANO (*Musa AAA*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES



3.1 MEZCLAS COAGULANTES DE ALMIDONES MODIFICADOS DE BANANO (*Musa AAA*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES

Laboratorio de Docencia, Planta Piloto área de Tratamiento de Agua, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya

86039 Villahermosa, Centro, Tabasco

[rociolv33@hotmail.com*](mailto:rociolv33@hotmail.com)

Rocío López-Vidal, José R. Laines-Canepa, María A. Aparicio-Trápala, José R. Hernández Barajas, Rudy Solís-Silván, Raúl G. Bautista-Margulis & Carlos A. Torres-Balcázar

RESUMEN

La coagulación es el proceso fisicoquímico más utilizado, para remover turbiedad y color en aguas superficiales. Los coagulantes naturales han sido utilizados ampliamente como una alternativa viable, para la remoción de turbiedad y color. Las altas turbiedades en ríos, arroyos y canales provocan serios problemas en las plantas de tratamiento de agua, debido a las grandes cantidades de sedimentos y partículas suspendidas. El objetivo de este estudio fue comparar el potencial coagulante en mezclas compuestas por sulfato de aluminio más almidón de banano (*Musa AAA*) nativo y modificados, para remover alta turbiedad y color. La evaluación de las mezclas coagulantes se realizó mediante la técnica de prueba de jarras. Las concentraciones de sulfato de aluminio evaluadas fueron 35, 40, 45, 50, 55 y 60 mg/L, siendo la de 50 mg/L la que presentó la mejor remoción. Esta concentración óptima del sulfato de aluminio fue referencia para las mezclas del coagulante convencional con los diferentes almidones nativo y modificados. Las concentraciones utilizadas de sulfato de aluminio (SA) más almidón nativo y modificados de banano más eficiente fueron de 25 mg/L SA-25 mg/L almidón. Los



valores de turbidez y color inicial fueron 415 UTN y 844 UC. Pt-Co, respectivamente. El valor promedio más bajo obtenido para turbiedad fue de 18.27 ± 0.5 UTN, que corresponde al almidón pregelatinizado. Y el valor más alto fue de 26.9 ± 1.35 UTN con la mezcla de SA-Almidón entrecruzado de banano. Las mezclas coagulantes de sulfato de aluminio y almidones modificados presentaron resultados relevantes en la remoción de altas concentraciones de turbiedad y color. Lo anterior indica, que son una opción de tratamiento, además de ser materiales biodegradables y amigables con el medio ambiente.

Palabras clave: Turbiedad, Tratamiento de aguas, Almidones modificados, almidón de banano, coagulación-floculación, dosis óptima.



ABSTRACT

Coagulation is the most widely used physicochemical process for removing turbidity and color in surface waters. Natural coagulants have been widely used as a viable alternative for turbidity and color removal. High turbidity in rivers, streams and canals causes serious problems in water treatment plants, due to the large amounts of sediments and suspended particles. The objective of this study was to compare the coagulant potential in mixtures composed of aluminum sulfate plus native and modified banana starch (*Musa AAA*), to remove high turbidity and color. The evaluation of the coagulant mixtures was carried out using the jar test technique. The aluminum sulfate concentrations evaluated were 35, 40, 45, 50, 55 and 60 mg/L, with 50 mg/L concentration showing the best removal. This optimal concentration of aluminum sulfate was the reference for the mixtures of the conventional coagulant with the different native and modified starches. The most efficient concentrations of aluminum sulfate (AS) plus native and modified banana starch were 25 mg/L SA-25 mg/L almidón. The initial turbidity and color values were 415 NTU and 844 CU Pt-Co units, respectively. The lowest average value obtained for turbidity was 18.275 ± 0.5 NTU, which corresponds to pregelatinized starch. And the highest value was 26.9 ± 1.35 NTU with the SA-banana cross-linked starch mixture. The coagulant mixtures of aluminum sulfate and modified starches presented relevant results in the removal of high concentrations of turbidity and color. This indicates that they are a treatment option, in addition to being biodegradable and environmentally friendly materials.

Keywords: Turbidity, water treatment, modified starches, banana starch, coagulation-flocculation, optimum dosage.



INTRODUCCIÓN

La potabilización es el proceso de tratamiento al que se someten las aguas superficiales, para garantizar que sean aptas para uso y consumo humano. El agua potable es un reto a nivel mundial, ya que su disponibilidad en las fuentes de abastecimiento tiende a reducirse, debido al incremento de la contaminación. Diversos países en vías de desarrollo no cuentan con agua de calidad para su consumo. Más de 2000 millones de personas viven en países con gran escasez de agua (WWAP, 2019). El aumento de la población, las actividades agrícolas e industriales y el mal manejo de este recurso, han sido las causas de la demanda creciente de agua potable (Kopytko *et al.*, 2014). También, la producción de alimentos y el desarrollo industrial han sido afectados por la limitante disponibilidad del agua, y a medida que la población mundial avance con su rápido crecimiento esto puede generar una crisis global de las reservas de agua impactando a las necesidades del ser humano (WWAP, 2016). La falta de agua potable afecta directamente al consumo y disponibilidad para todas las personas que dependen directamente de ese abastecimiento, acrecentando los riesgos a la salud humana (WWAP, 2019). Las fuentes de abastecimiento contaminadas han sido la causa de la muerte de miles de personas alrededor del mundo, debido a enfermedades gastrointestinales tales como la diarrea y el cólera, tanto en los países en desarrollo, como en los desarrollados (Carrasquero *et al.*, 2017; Latheef *et al.*, 2019). Las aguas superficiales son las más contaminadas, contienen altos niveles de turbiedad y color, debido a los sólidos suspendidos y a la materia orgánica coloidal presentes. Esta problemática se acentúa en épocas de lluvia e inundaciones, ya que las escorrentías del agua contribuyen al incremento de la turbidez generando picos importantes que afectan la captación del efluente (Ramavandi, 2014; Malik, 2018). La coagulación-floculación es el proceso más comúnmente utilizado para la clarificación de las aguas superficiales y residuales. El mecanismo consiste en la adición de coagulantes químicos, los cuales desestabilizan a las partículas



coloidales cargadas negativamente, mientras que los floculantes aglomeran y fortalecen a los flóculos formados por las partículas desestabilizadas, para su posterior sedimentación (Teh *et al.*, 2014; Aziz *et al.*, 2018). Las sales de hierro y aluminio son los coagulantes convencionales más utilizados. Éstos son altamente efectivos para la eliminación de coloides y material suspendido, pero el costo es alto. Algunos investigadores han señalado que los coagulantes inorgánicos pueden provocar trastornos patológicos y neurológicos, tal es el caso del sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, al cual se le ha relacionado como precursor de la enfermedad del Alzheimer y demencia (Singh & Saxena, 2020). En contraste, los coagulantes naturales no son tóxicos, generan menor cantidad de lodos, y por su naturaleza biodegradable son inofensivos para la salud humana y el medio ambiente (Abatneh, 2014; Aziz *et al.*, 2018). Debido a los efectos negativos de algunos coagulantes convencionales, se ha incrementado el interés hacia las tecnologías ambientales, las cuales han utilizado polielectrolitos naturales, tales como el almidón, el quitosán y la celulosa (Ali *et al.*, 2010; Katayon *et al.*, 2006; Ramírez & Jaramillo, 2015).

Los polímeros orgánicos naturales se han utilizado eficazmente como coagulantes naturales en aguas superficiales con alta turbiedad. Las fuentes de estos agentes naturales son generalmente raíces, semillas, cortezas o savia, frutos de árboles y extractos de plantas, o pueden extraerse de animales o tejidos vegetales (Tarón *et al.*, 2017). Esto los hace rentables y económicos, ya que pueden cultivarse localmente en algunas zonas rurales (Azrafuzzaman *et al.*, 2011; Abatneh, 2014). Lo anterior, impulsa a investigar iniciativas globales, así como implementar nuevas tecnologías que sean nocivas a la salud y al medio ambiente, para tener un desarrollo sostenible (Barreto *et al.*, 2019). Entre los coagulantes de origen vegetal utilizados para el tratamiento de aguas superficiales, están los extractos de cactus (*Hylocereus cf. Trigonus*), exudado gomoso de campano (*Albizia saman*), corteza de guácimo (*Guazuma ulmifolia*), semilla de nirmali, los taninos, extractos de semilla de la *Cassia fistula*, el cactus *Opuntia ficus-indica*, almidones de yuca, de plátano (Laines *et al.*, 2008) y de papa, entre otros, pero se ha señalado que los más eficientes son los extractos de la *Moringa oleifera* (Solis *et al.*, 2012; Barreto, *et al.*,



2019; Feriá *et al.*, 2020). Los almidones han sido utilizados como ayudantes en el proceso de coagulación-floculación, y en algunos casos han sustituido a los coagulantes inorgánicos en el tratamiento de aguas superficiales y residuales (Teh *et al.*, 2014; López *et al.*, 2014). Algunos estudios han señalado que los almidones pueden ser modificados en su estructura, para ser utilizados en el tratamiento de aguas. Estos se obtienen a partir del almidón nativo y son modificados químicamente, entre los que podemos mencionar a los almidones catiónicos, entrecruzados, sulfatos de almidón, fosfatos de almidón (fosfatados), entre otros. También se modifican físicamente, como es el caso del almidón pregelatinizado (Shogren, 2009). El objetivo de este trabajo fue evaluar mezclas de almidones de banano nativo más sulfato de aluminio, y modificados más sulfato de aluminio, para la remoción de turbidez y color en aguas superficiales. Los resultados de la presente investigación permitirán dar alternativas de solución viables, a las instituciones gubernamentales encargadas de la administración y manejo del agua, tales como la Comisión Nacional del Agua (CNA), así como los responsables de evaluar el agua, para que cumpla con la calidad apta para consumo humano, como es la Organización Mundial de la Salud (OMS), entre otras. Asimismo, llevar a cabo las medidas preventivas, desarrollar estrategias que disminuyan los problemas de escasez y contaminación del agua. De igual forma, generar propuestas ambientales para el tratamiento de agua potable utilizando mezclas coagulantes naturales, lo que permitirá reducir las cantidades de coagulantes inorgánicos convencionales, además de reducir los costos en el tratamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 1, se muestra el diagrama de flujo de los tipos de almidones de banano nativo y modificado. Se observa que el precursor de los almidones modificados es el almidón nativo. Los almidones modificados fueron de tres tipos, entrecruzado, fosfatado y pregelatinizado.



Entrecruzado (Fosfato de dialmidón)

Para la síntesis del almidón entrecruzado (AE), se secaron 100 g de fosfato sódico dihidrogenado (NaH_2PO_4) en una mufla a 530 °C por 5 h, obteniéndose el trimetafosfato de sodio (STMP). Al término del secado, se tomaron 21 g de STMP y se mezclaron en una solución formada por 300 mL de agua destilada más 15 g de sulfato de sodio. A la mezcla anterior se agregaron 300 g de almidón nativo (base seca) ajustando a un pH de 6, utilizando una solución de HCl o una solución de NaOH al 5%, según sea necesario. Se agregó agua destilada hasta obtener una pasta con un peso de 667 g. La pasta se secó en la estufa a 40 °C por 15 h. La pasta seca se lavó tres veces, cada vez con 300 mL de agua destilada, ajustando el pH a 6.5 con HCl. Al término de cada lavado se sedimentó la mezcla y se decantó el sobrenadante. La pasta del tercer lavado se secó en la estufa a 40 °C por 15 h. Finalmente, la pasta seca se pulverizó y almacenó en bolsas de polietileno.

Fosfato del monoalmidón o fosfatado

Para la síntesis del almidón fosfatado (AF), se utilizaron trimetafosfato de sodio (STMP) y tripolifosfato de sodio (STPP). La síntesis de STPP, se obtuvo al secar 50 g de fosfato de sodio dibásico (Na_2HPO_4) en una mufla a 530 °C por 5 h. Se mezclaron 15 g de STMP y 6 g de STPP en una solución con 300 mL de agua destilada y 15 g de sulfato de sodio. A la mezcla anterior se agregaron 300 g de almidón nativo (base seca) y se ajustó a un pH de 6, utilizando ácido clorhídrico (HCl) al 5% (si el pH de la mezcla es ácido, se ajusta con NaOH al 5%). Se agregó agua destilada hasta obtener una pasta con un peso de 667 g. La pasta se secó en la estufa a 40 °C por 15 h. Para efecto de la fosforilación, la pasta seca se calentó 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, se realizaron 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 y almacenó en bolsas de polietileno.

Almidón pregelatinizado

El almidón pregelatinizado (APg), se obtuvo de acuerdo a la técnica de Torres *et al.*, (2011). Se pesaron 30 g de almidón nativo y se adicionaron 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.

Preparación de las muestras sintéticas de agua

Las muestras sintéticas de agua se prepararon utilizando un suelo tipo vertisol (arcilloso) recolectado en la rancharía 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 se secó en una estufa Novatech Modelo HS60 AID® a una temperatura de 50°C. Se trituroó en un mortero y se pulverizó en un molino de alta eficiencia marca IKA modelo M20 (IKA-Werke, Staufen, Germany). Posteriormente, se tamizó en una malla de 45 µm (tamiz No. 325, escala ASTM E-11) y se almacenó en bolsas herméticas de polietileno. Se pesaron 13 g de suelo arcilloso y se mezclaron con 20 L de agua purificada, para obtener turbiedades iniciales de 413 ± 10 UTN y color de 765 ± 10 UC. escala Pt-Co. La turbiedad y el color se midieron por triplicado con un turbidímetro marca LaMotte® con precisión de 0.01 UTN (EPA 1983, NOM-041-SSA1 1993, ISO 1990), y para el color 0.1 UC (método estándar 2120B).



Preparación de soluciones

La solución de 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 preparó disolviendo 10 g de sulfato de aluminio en un litro de agua destilada. Las soluciones de almidón nativo y modificados fueron preparadas con 0.5 g de almidón diluidos en un litro de agua destilada.

Prueba de jarras

La prueba de jarras es la técnica más utilizada para estimar la dosis óptima de coagulante en el proceso de coagulación-floculación. Este equipo consta de seis jarras de acrílico con capacidad de 1000 ml, seis paletas de acero como eje para obtener una mezcla constante. Permite realizar la dosificación de coagulante, controlar la velocidad de mezclado, así como medir el pH y la variación de temperatura.

Procedimiento para obtener dosis óptima de sulfato de aluminio

Para obtener la dosis óptima de sulfato de aluminio (tratamiento 1) 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 UTN. Para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio, se realizaron pruebas de jarra con concentraciones de 35, 40, 45, 50, 55 y 60 mg/L de sulfato de aluminio. Se realizó un mezclado rápido a 120 rpm durante un minuto para la desestabilización de los coloides, un mezclado lento a 20 rpm por 20 min para la formación de flóculos y 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 cuadruplicado. Se midió la turbiedad y color en un turbidímetro Lehman Lamotte TC-3000 y el pH con un equipo multiparámetro HI-9828 (Hanna Instruments, Woonsocket, USA).



Procedimiento para obtener las dosis óptimas de las mezclas coagulantes

Con base en la dosis óptima del sulfato de aluminio obtenido en el proceso de coagulación-floculación, se procedió a llevar a cabo la formulación de los tratamientos (mezclas), utilizados para remover turbiedad y color, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulación de los tratamientos utilizados

Tratamiento	Notación	Agentes químicos empleados mg/L
1	SA	Sulfato de aluminio
2	SA-AN	Sulfato de aluminio más almidón nativo
3	SA-AE	Sulfato de aluminio más almidón entrecruzado
4	SA-AF	Sulfato de aluminio más almidón fosfatado
5	SA-APg	Sulfato de aluminio más almidón pregelatinizado

Cada formulación se repitió cuatro veces para su análisis estadístico.

Para el tratamiento 1, las concentraciones de sulfato de aluminio utilizadas fueron 35, 40, 45, 50, 55 y 60 mg/L, de las cuales se obtiene la dosis óptima que representa el 100% del soluto.

Para los tratamientos 2, 3, 4 y 5, las concentraciones del soluto fueron formuladas tomando como base la dosis óptima de coagulante, la cual representa el 100% (Tabla 2).



Tabla 2. Relación de porcentajes para la conformación del soluto utilizados en cada una de las mezclas

Tratamiento	Sulfato de aluminio (%)	Almidón nativo y modificado (%)	Porcentaje total de cada mezcla (%)
1	0	100	100
2	30	70	
3	50	50	
4	70	30	
5	100	0	

Evaluación de la mejor dosis de las mezclas

Para obtener la mejor dosis de las mezclas coagulantes, se realizaron pruebas de jarra por cuadruplicado, utilizando mezclas de sulfato de aluminio más almidón nativo y sulfato de aluminio más almidón modificado. Las concentraciones en mg/L para cada soluto están relacionadas con los porcentajes de la Tabla 2 (Tabla 3).

Tabla 3. Concentraciones de soluto

SA (mg)	Almidón (mg)*
0	50
15	35
25	25
35	15
50	0

*Almidón nativo y/o modificado



DISEÑO EXPERIMENTAL

Se empleó un modelo incompleto aleatorizado de un factor al azar con seis tratamientos (35, 40, 45, 50, 55 y 60 mg/L) de sulfato de aluminio (SA), para determinar la dosis óptima que tengan el valor más bajo de turbiedad y color de un agua constituida. Se llevaron a cabo 4 pseudorréplicas. De igual forma se empleó un modelo completamente aleatorizado de un factor al azar con cuatro tratamientos de mezclas de sulfato de aluminio con almidones de banano nativo y un testigo (0. S.A-50.AN = 0 mg/L de S.A y 50 mg/L A.N, 15.S.A-35.AN = 15 mg/L de S.A y 35 mg/L AN, 25.SA-25.AN = 25 mg/L de S.A y 25 mg/L de AN, 35.SA-15.AN = 35 mg/L de S.A y 15 mg/L de AN y SA.50 = 50 mg/L de sulfato de aluminio), para determinar el mejor tratamiento en cuanto a la reducción de la turbiedad y el color de un agua constituida. Se llevaron a cabo 4 pseudorréplicas. Se repitió el mismo modelo completamente aleatorizado de un factor al azar con cuatro tratamientos de mezclas de sulfato de aluminio con almidones de banano entrecruzado, fosfatados y pregelatinizados y un testigo. Se llevaron a cabo 4 pseudorréplicas por cada una de las mezclas de S.A y los diferentes almidones (almidón entrecruzado, almidón fosfatado, almidón pregelatinizado y un testigo = Dosis óptima de SA). Finalmente se empleó modelo completamente aleatorizado de un factor al azar con las mejores mezclas de SA con los diferentes tipos de almidones que tuvieron la mejor reducción de turbiedad y color de un agua constituida y se comparó con un testigo (dosis óptima de S.A).



ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se empleó un análisis de varianza para evaluar la efectividad de las diferentes dosis de sulfato de aluminio (S.A) en cuanto a la reducción de turbiedad y color de un agua constituida. Así mismo se empleó un análisis de varianza para evaluar la efectividad de las diferentes mezclas de SA con los diferentes tipos de almidones (nativo, entrecruzado, fosfatados y pregelatinizado) y se comparó con la dosis optima de sulfato de aluminio. Las variables de respuestas son la turbiedad y el color del agua constituida. Con respecto a las mezclas de S.A y los diferentes tipos de almidones se emplearon también análisis de Kruskal-Wallis para evaluar la efectividad, debido a que en algunos casos los valores de la variable color no cumplieron con los postulados de la estadística paramétrica (homocedasticidad).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dosis óptima de sulfato de aluminio (S.A)

El análisis de varianza indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de las variables turbiedad y color del agua constituida para las distintas dosificaciones de S.A evaluadas (35, 40, 45,50, 55 y 60 mg/L) ($p < 0.001$) con un 95% de confianza, siendo la dosificación de 50 mg/L la que presenta los valores más bajos de turbiedad y color con respecto a las demás dosis (Tabla 1). La dosificación de 50 mg/L de S.A (SA-50) sirvió como referencias para llevar a cabo las mezclas coagulantes de S.A y los diferentes tipos de almidones (nativo, entrecruzado, fosfatado y pregelatinizado).

Tabla 1. Turbiedad y color promedio (\pm EE) obtenidos del agua constituida bajo el efecto de las diferentes dosis de S.A evaluadas.

Concentración (S.A mg/L)	Promedio \pm Error Estándar de Turbiedad	Promedio \pm Error Estándar de Color
35	37.92 \pm 5.96	64.87 \pm 2.12
40	47.27 \pm 6.22	54.32 \pm 0.93
45	46.97 \pm 7.10	44.27 \pm 0.57
50	28.17 \pm 0.60	40.87 \pm 1.80
55	42.72 \pm 5.02	45.87 \pm 2.17
60	39.42 \pm 2.44	43.39 \pm 2.46



Mezclas de sulfato de aluminio con almidón nativo (SA-AN) y dosis óptima de S.A (SA-50).

El análisis de varianza indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) entre los promedios de las variables turbiedad y color del agua constituida para las distintas mezclas de dosificaciones de S. A con almidón nativo (AN) y la dosis óptima de SA-50 evaluadas (0. S.A-50.AN = 0 mg/L de S.A y 50 mg/L A.N, 15.S.A-35.AN = 15 mg/L de S.A y 35 mg/L AN, 25.SA-25.AN = 25 mg/L de S.A y 25 mg/L de AN, 35.SA-15.AN = 35 mg/L de S.A y 15 mg/L de AN y SA.50 = 50 mg/L de sulfato de aluminio) con un 95% de confianza. La mezcla 25.SA-25.AN presento los valores más bajo de turbiedad y color con respecto a la dosis óptima de SA-50 y las diferentes mezclas coagulantes (Tabla 2).

Tabla 2. Turbiedad y color promedio (\pm EE) obtenidos del agua constituida bajo efecto diferentes mezclas de S.A con AN y SA-50.

Concentración, mg/L S.A-AN	Promedio Error Estándar de Turbiedad	Promedio Error Estándar de Color
0.0-50.0	137.82 \pm 10.13	279.52 \pm 13.11
15.0-35.0	122.1 \pm 2.42	256.32 \pm 7.53
25.0-25.0	26.77 \pm 0.79	35.77 \pm 1.37
35.0-15.0	43.6 \pm 2.88	47.87 \pm 4.04
SA-50.0	39.22 \pm 4.45	50.22 \pm 5.14

Mezcla de sulfato de aluminio con almidón entrecruzado (SA-AE) y dosis óptima SA-50

El análisis de varianza indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) entre los valores promedios de la variable turbiedad del agua constituida para las distintas mezclas de dosificaciones de S. A con almidón entrecruzado (AE) y dosis óptima SA-50 evaluadas (0.S.A-50.AE, 15.S.A-35.AE, 25.SA-25.AE, 35.SA-15.AE y SA-50) con un 95% de confianza. La mezcla 25.SA-25.AE presento el valor



promedio más bajo de turbiedad con respecto a la dosis óptima SA-50 y las diferentes mezclas coagulantes. Asimismo, se pudo observar que la mezcla 25.SA-25.AE mostró también el valor mediano más bajo de color según la significancia del análisis de Kruskal-Wallis ($P = 0.001$) (Tabla 3).

Tabla 3. Turbiedad promedio (\pm EE) y medianas de Color (\pm Q_1 y Q_3) obtenidos del agua constituida bajo diferentes mezclas de dosis de S.A con AE y SA-50.

Concentración, mg/L S.A-AE	Promedio Error Estándar de Turbiedad	Mediana y cuartiles Q_1 y Q_3 de color
0.SA-50.AE	150.675 \pm 4.72	304.0 ($Q_1=297.5$ y $Q_3=306.5$)
15.S.A-35.AE	129.8 \pm 4.38	244.85 ($Q_1=234.55$ y $Q_3=273.0$)
25.SA-25.AE	26.9 \pm 1.35	42.35 ($Q_1=41.7$ y $Q_3=42.8$)
35.SA-15.AE	34.32 \pm 1.80	47.95 ($Q_1=45.0$ y $Q_3=48.95$)
SA-50	54.07 \pm 4.70	65.05 ($Q_1=59.0$ y $Q_3=67.75$)

(Q_1)=Cuartil Inferior y (Q_3)= Cuartil Superior



Mezcla de sulfato de aluminio-almidón fosfatado (S.A-AF) y dosis óptima SA-50

El análisis de varianza indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) entre los promedios de la variable turbiedad del agua constituida para las distintas mezclas de dosificaciones de S. A y almidón fosfatado (AF) y dosis óptima SA-50 evaluadas (0.SA-50.AF, 15.SA-35.AF, 25.SA-25.AF, 35.SA-15.AF y SA-50) con un 95% de confianza. La mezcla 25.SA-25.AF presento el valor promedio más bajo de turbiedad con respecto a la dosis óptima de SA-50 y las diferentes mezclas coagulantes. De igual forma, se pudo observar que la mezcla 25.SA-25.AF mostró también el valor mediano más bajo de color según la significancia del análisis de Kruskal-Wallis ($P = 0.004$) (Tabla 4).

Tabla 4. Turbiedad promedio (\pm EE) y medianas de Color (\pm Q_1 y Q_2) obtenidos del agua constituida bajo diferentes dosis de mezclas de S.A con AF y SA-50.

Concentración, mg/L S.A-AF	Promedio Error Estándar de Turbiedad	Medianas (Q_1) y (Q_3) de Color
0.SA-50.AF	151.80 \pm 4.11	311.55 ($Q_1=301.6$ y $Q_3=316.0$)
15.S.A-35.AF	142.70 \pm 4.58	249.0 ($Q_1=139.35$ y $Q_3=286.0$)
25.SA-25.AF	19.42 \pm 0.34	43.50 ($Q_1=40.9$ y $Q_3=50.0$)
35.SA-15.AF	30.10 \pm 5.87	46.40 ($Q_1=41.8$ y $Q_3=59.85$)
SA-50	37.77 \pm 7.47	54.05 ($Q_1=53.35$ y $Q_3=54.35$)

(Q_1)=Cuartil Inferior y (Q_3)= Cuartil Superior



Mezcla de sulfato de aluminio-almidón pregelatinizado (S.A-APg) y dosis óptima SA-50

El análisis de varianza indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) entre los valores promedios de las variables turbiedad y color del agua constituida para las distintas mezclas de dosificaciones de SA y almidón pregelatinizado (APg) y dosis óptima SA-50 empleadas (0.SA-50.APg, 15.SA-35.APg, 25.SA-25.APg, 35.SA-15.APg y SA-50) con un 95% de confianza. La mezcla 25.SA-25.APg presentaron los valores promedios más bajo de turbiedad y color con respecto a la dosis óptima de SA-50 y las diferentes mezclas coagulantes (Tabla 5).

Tabla 5. Turbiedad y color promedio (\pm EE) obtenidos del agua constituida bajo diferentes mezclas de dosis de S.A con APg y SA-50. El número cuatro indica el número de observaciones por dosificación.

Concentración, mg/L S.A-APg	Promedio Error Estándar de Turbiedad	Promedio Error Estándar de Color
0.SA-50.PAg	184.425 \pm 1.27	297.025 \pm 0.26
15.S.A-35.PAg	148.8 \pm 1.10	279.075 \pm 0.20
25.SA-25.PAg	18.275 \pm 0.52	35.5 \pm 1.46
35.SA-15.PAg	33.825 \pm 0.55	59.195 \pm 0.48
SA-50	35.625 \pm 0.23	44.905 \pm 0.55



Comparación de las mejores mezclas coagulantes contra la dosis de sulfato de aluminio en cuanto a disminución de turbiedad y color un agua constituida.

Se compararon las mejores mezclas coagulantes (25. SA-25.AN, 25. SA-25.AE, 25. SA-25.AF y 25.SA-25. APg) contra la dosis de SA.50 en cuanto a la disminución de turbiedad y color del agua constituida. El análisis de varianza indica que existen diferencias estadísticas significativas entre los promedios de la variable turbiedad del agua constituida para las distintas dosificaciones de mezclas coagulantes y dosis optima de S.A-50 empleadas ($P < 0.001$) con un 95% de confianza, siendo las mezclas coagulantes 25.SA-25.APg y 25.SA-25.AF, las que presentaron los valores promedios más bajos de color con $18.27 \pm EE = 0.52$ UNT y $19.42 \pm EE = 0.34$ NTU respectivamente, seguidas por las mezclas 25.SA-25.AN, 25.SA-25.AE y la dosis optima SA-50 con promedios de $26.77 \pm EE = 0.79$, $26.9 \pm EE = 1.35$ y $28.17 \pm EE = 0.60$ respectivamente. El contraste múltiple de medias de Tukey indica con letras diferentes, diferencias entre los distintos tratamientos (Figura 1).

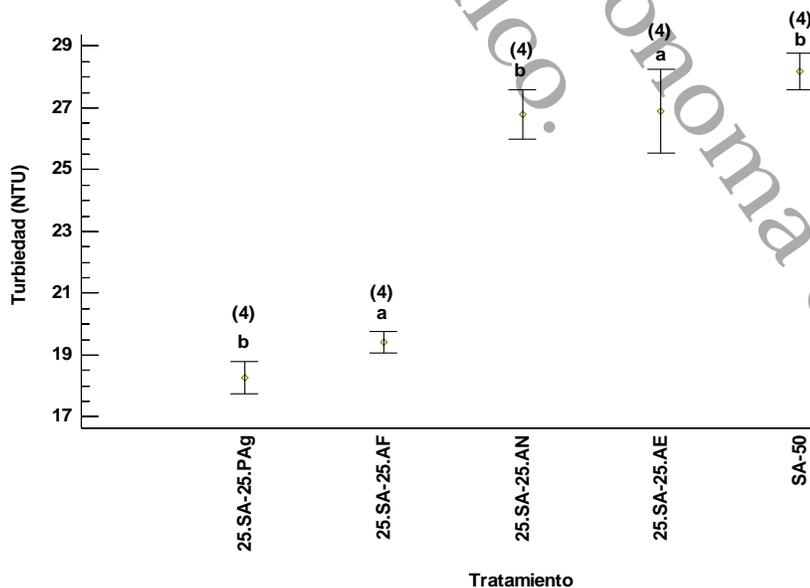


Figura 1. Turbiedad promedio (\pm EE) obtenidos del agua constituida bajo diferentes mezclas de dosis coagulantes y dosis óptima de S.A 50 (Tratamientos). El número entre paréntesis indica el número de repeticiones por tratamiento. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.



El análisis de varianza indica que existen diferencias estadísticas significativas entre los promedios de la variable color del agua constituida para las distintas dosificaciones de mezclas coagulantes y dosis óptima de S.A empleadas ($P < 0.001$) con un 95% de confianza, siendo las mezclas coagulantes 25.SA-25.APg y 25.SA-25.AN, las que presentaron los valores promedios más bajos de color con $35.5 \pm EE = 1.46$ U.C y $35.77 \pm EE = 1.37$ respectivamente, seguida por la dosis óptima de SA-50 y las mezclas coagulantes 25.SA-25.AE y 25.SA-25.AF con promedios de $40.87 \pm EE = 1.80$ UC, $42.25 \pm EE = 0.39$ y $45.45 \pm EE = 3.16$ respectivamente. El contraste múltiple de medias de Tukey indica con letras diferentes, diferencias entre los distintos tratamientos (Figura 2).

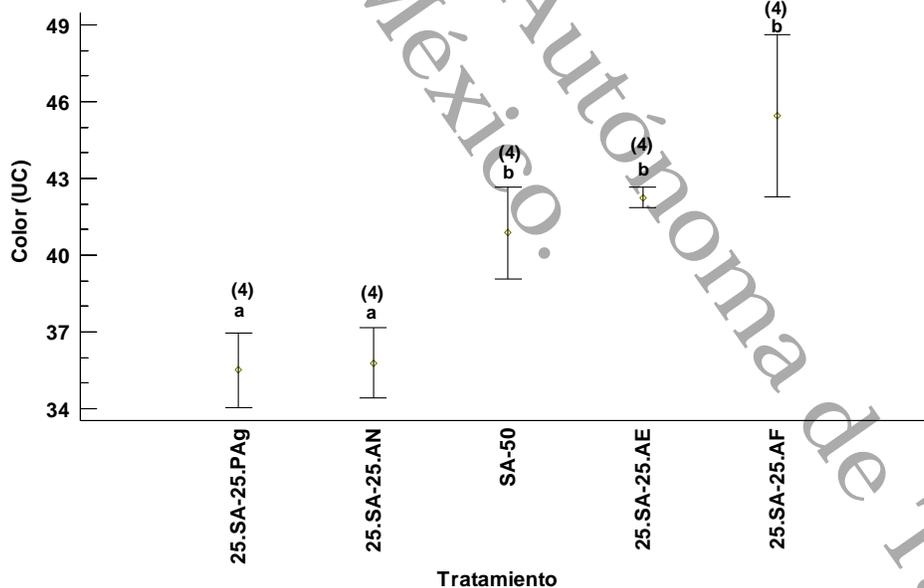


Figura 2. Color promedio (\pm EE) obtenidos del agua constituida bajo diferentes mezclas de dosis coagulantes y dosis óptima de S.A-50 (Tratamientos). El número entre paréntesis indica el número de repeticiones por tratamiento. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.



El resultado obtenido en esta investigación con respecto a la turbidez fue de 95.6%, el cual es similar a los mostrados en el estudio de Carrasquero, *et al.* (2017) en los que obtienen 99.6% y 94.5% utilizando coagulantes con residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y de plátano (*Musa paradisiaca*) respectivamente. De igual forma, Barbarán *et al.* (2017) muestran porcentajes de remoción del 92.95% utilizando coagulantes a base de semillas de durazno (*Prunus persica*) y palta (*Persea americana*). Por su parte, Aziz *et al.* (2018) utilizaron semillas de *Tamarindus indica* como coagulante en el tratamiento de lixiviados de vertederos obteniendo remociones que oscilan entre 97.3% y 99.3%. Estos resultados son comparables con los mostrados en los estudios de Laines *et al.* (2008), quienes utilizaron mezclas coagulantes con almidón de plátano obteniendo un porcentaje de remoción del 97.4%. Asimismo, los resultados de López *et al.* (2014) son parecidos a los de esta investigación, ya que utilizaron mezclas de sulfato de aluminio con almidón de malanga (*Colocasia esculenta*) obteniendo una remoción de turbiedad del 95%. También, Sandoval (2013) obtuvo porcentajes de remoción del 92%, utilizando como coagulante polvo de semillas de *Moringa oleifera*. Estos valores son comparables con los obtenidos en la presente investigación. Con base en lo anterior, se muestra que los coagulantes naturales son una alternativa viable, económica y sustentable para el tratamiento de las aguas.



CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, podemos concluir que los almidones de banano (*Musa AAA*) nativo y modificados mezclados con sulfato de aluminio han mostrado características coadyuvantes durante el proceso de coagulación-floculación en muestras de aguas superficiales. En general, se demostraron remociones de turbiedad importantes con todas las mezclas coagulantes, tomando como referencia las turbiedades iniciales, las cuales estaban por encima de 400 UTN. La mezcla coagulante de sulfato de aluminio más almidón pregelatinizado, identificada como 25SA-25APg fue la más efectiva, ya que presentó en promedio el valor más bajo de turbiedad, mientras que la mezcla de sulfato de aluminio más almidón entrecruzado, 25SA-25AE, mostró el valor más alto. Esto demuestra que los coagulantes naturales coadyuvan en el tratamiento de aguas. Además de contribuir en la disminución del uso de coagulantes metálicos como es el sulfato de aluminio, son mezclas coagulantes biodegradables y amigables con el medio ambiente.



REFERENCIAS

- Abatneh, Y., Sahu, O., & Yimer, S. (2014). Purification of drinking water by low cost method in Ethiopia. *Applied Water Science, Litherland 1995*.
<https://doi.org/10.1007/s13201-013-0151-9>
- Ali, E. N., Muyibi, S. A., Salleh, H. M., Alam, M. Z., Ramlan, M., Salleh, M. (2010). Production of Natural Coagulant from Moringa Oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. *Journal Water Resource and Protection, 2*, 259-266.
- Asrafuzzaman, Md., Fakhruddin, A.N.M. & Hossain, A. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. Volume 2011, Article ID632189.
- Azis, H.A., Yii, Y.C., Syed Z, S.F.F., Ramil, S.F. & Akinbile, C.O. (2018). Effects of using Tamarindus indica Seeds as natural coagulant aid in landfill leachate treatment. *Global NEST Journal, Vol. 20, No. 2*, pp 373-380.
- Barbarán S.H., López C. J. & Chico R. J. (2017). Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*Prunus pérsica*) y palta (*Persea americana*). *Sagasteguiana 5(1)*: 7-16. ISSN 2309-5644.
- Barreto P, S., Vargas M, D.K., Ruíz M, L & Gómez A, S.L. (2019). Evaluación de coagulantes naturales en la clarificación de aguas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental, RIAA. Bogotá-Colombia, Vol.11 No. 1*: 105-116. e-ISSN: 2145-6453.
- Carrasquero F., S.J., Montiel F., S., Faría P., E.D., Parra F., P.M., Marín L., J.C., Díaz M., 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. Vol. 13(2)*. ISSN:1900-4699.
- Feria, J.J. J.J., Altamiranda, J.E., Soto, C.H. (2020). Uso de semillas de Tamarindus indica como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Revista Espacios. Vol. 41(38). Art. 17*. ISSN: 0798-1015.
- Katayon, S., Ng, S. C., Johari, M. M. N. M., & Ghani, L. A. A. (2006). Preservation of coagulation efficiency of Moringa oleifera, a natural coagulant. *Biotechnology and Bioprocess Engineering, 11*, 489-495.
<http://link.springer.com/article/10.1007/BF02932072>
- Kopytko, M.I., Rueda V., E.P. (2014). Application of natural product (Aloe vera) in coagulation-flocculation procedures, for water treatability study. *IJESIT (International Journal of engineering science and innovative technology*.



Volume 3, Issue 3. ISSN: 2319-5967.

- Laines J.R., Goñi A., Howard R. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 33, 22-28.
- Latheef, A., Saheed, S.M., Basheer, A.K., Amjed, P.S. & Johnson, J. (2019). Water treatment using natural coagulants. *Internacional Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 06 Issue:06.
- Lim, S., Seib, P.A. (1993). Preparation and pasting properties of wheat and corn starch phosphates. *Cereal Chemistry* 70, 137-144.
- López V.R., Laines C.J., Hernández B. J., Aparicio T. M. (2014). Evaluación de Almidones de Malanga (*Colocasia esculenta*) como agentes coadyuvantes en la remoción de turbiedad en procesos de potabilización de agua. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13 (3), 855-863
- Malik, Q.H. (2018). Performance of alum and assorted coagulants in turbidity removal of muddy water. *Applied Water Science*. 8:40
- Ramavandi, B. (2014). Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovata*. *Water Resources and Industry*. 6, 2212-3717
- Ramírez A, H., Jaramillo P, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Universidad Militar Nueva Granada. Volumen 11, No. 2 pp. 136-153. ISSN 1900-4699
- 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.
- Shogren, R.L. (2009). Flocculation of kaolin by waxy maize starch phosphates. *Carbohydrate Polymers* 76, pp.639-644.
- Singh, P. y Saxena, I. (2020), septiembre 13). Yamuna river water treatment using a natural coagulant of *Citrullus lanatus* seeds. *World Scientific News*, 149, 52-63. 2020, septiembre 12, De World Scientific News Base de datos
- Solís S.R., Laines C.R., Hernández B.J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3): 229-236
- Tarón D, A.A., Guzmán C, L.E., Barros P, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, Vol.21, Núm.1, 2017, pp.73-78.
- Teh, C.Y., Wu, T.Y. & Juan, J.C. (2014). Potential use of rice starch in coagulation-flocculation process of agro-industrial wastewater: Treatment performance and



flocs characterization. *Ecological Engineering*. 71, 509-519.

Torres Zapata A., Aparicio Trápala M., Blé Castillo J y Corzo Sosa C. 2011. Respuesta glucémica e insulínica de pacientes con diabetes tipo 2 al consumo de calabaza criolla (*Cucúrbita Pepo L.*) enriquecida con almidón de banano. *Información Tecnológica*, 23(2): 71-86

WWAP. (2016). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. <https://doi.org/978-92-3-300045-2>

WWAP. (2019). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO. 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, UNESCO. ISBN 978-92-3-300108-4.



CAPITULO IV

BIOEVALUACIÓN DE UN EFLUENTE TRATADO CON MEZCLAS DE ALMIDÓN DE MALANGA (*Colocasia esculenta*) Y SULFATO DE ALUMINIO EMPLEANDO ALEVINES DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) Y TENGUAYACA (*Petenia splendida*) COMO ESPECIES INDICADORAS



4.1 BIOEVALUACIÓN DE UN EFLUENTE TRATADO CON MEZCLAS DE ALMIDÓN DE MALANGA (*Colocasia esculenta*) Y SULFATO DE ALUMINIO EMPLEANDO ALEVINES DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) Y TENGUAYACA (*Petenia splendida*) COMO ESPECIES INDICADORAS

Laboratorio de Acuicultura Tropical, División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya
86039 Villahermosa, Centro, Tabasco

Rocío López-Vidal*, Wilfrido M. Contreras-Sánchez, José R. Laines-Canepa, José
R. Hernández-Barajas, María J. Contreras-García, Gaspar López-Ocaña, Liliana
Pampillón-González, Arturo Valdés-Manzanilla

Autor de correspondencia: rociolv33@hotmail.com*

RESUMEN

La turbidez es una medida del grado de transparencia que tiene el agua, debido a la concentración de sólidos suspendidos totales. Este parámetro muestra indirectamente la calidad de las aguas superficiales, ya que refleja el contenido de partículas suspendidas y coloidales presentes, tales como arcillas, fangos, óxidos minerales, algas y coloides húmicos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la calidad del agua de un efluente de agua sintética con alta turbidez tratado con mezclas coagulantes de almidón pregelatinizado (APgm) de malanga (*Colocasia esculenta*) y sulfato de aluminio (SA). Este bioensayo permitirá identificar el potencial de este tratamiento, para utilizarlo como agua de proceso en sistemas de acuicultura; además de determinar efectos nocivos en etapas tempranas de organismos peces de interés comercial. Para ello, se emplearon dos especies indicadoras: la mojarra tilapia (*Oreochromis niloticus*) que es una especie



ampliamente utilizada en la acuicultura y la mojarra tenguayaca (*Petenia splendida*) que es una especie nativa. Se utilizó una mezcla de 35.0 – 15.0 mg/L de SA y APgm para obtener agua sintética tratada (AST) con la que se obtuvo una remoción de 93% de turbidez y un 98% de color. Se prepararon diluciones de AST y agua potable reposada (APR) empleándose proporciones (100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100). Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con peceras de vidrio de 20 L de capacidad. En cada pecera, se colocaron al azar 30 peces de quince días de edad en un volumen de agua de 10 L. Los resultados indican que las aguas sintéticas tratadas con almidón de malanga y sulfato de aluminio no generan efectos adversos en el crecimiento y sobrevivencia de juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) o de tenguayaca (*Petenia splendida*).

Palabras clave: turbidez, coagulantes naturales, aluminio, peces indicadores, ecosistemas acuáticos.



ABSTRACT

Turbidity is a measure of the degree of transparency of water due to the concentration of total suspended solids. This parameter indirectly shows the quality of surface water, since it reflects the content of suspended and colloidal particles present, such as clays, sludge, mineral oxides, algae and humic colloids. The objective of this study was to evaluate the water quality effect of a synthetic water effluent treated with coagulant mixtures of pregelatinized starch (APgm) from malanga (*Colocasia esculenta*) and aluminum sulfate (AS). This bioassay will allow identifying the potential of this treatment for use as process water in aquaculture systems; in addition to determining harmful effects in early stages of fish organisms of commercial interest. For this purpose, two indicator species were used: tilapia (*Oreochromis niloticus*), which is a species widely used in aquaculture, and tenguayaca (*Petenia splendida*), which is a native species. A mixture of 35.0 – 15.0 mg/L AS and APgm was used to obtain synthetic treated water (AST) with which a 93% turbidity and 98% color removal was obtained. Dilutions of AST and reused drinking water (APR) were prepared using ratios (100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100). A completely randomized experimental design was used with glass fish tanks of 20 L capacity. In each tank, 30 fifteen-day-old fish were randomly placed in a 10 L water volume. The results indicate that synthetic waters treated with malanga starch and aluminum sulfate do not generate adverse effects on the growth and survival of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*) or tenguayaca (*Petenia splendida*).

Keywords: Turbidity, natural coagulants, aluminum, indicator fish, aquatic ecosystems.



INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para el ser humano y para toda forma de vida. Es conocida como el disolvente universal, ya que es capaz de disolver las sustancias de los sustratos por donde atraviesa. Las partículas en suspensión y material coloidal, tales como arcillas, limos, partículas húmicas y algas generan altos niveles de turbidez en algunas aguas superficiales. Altas concentraciones de turbidez pueden hacer ineficiente los efectos de la desinfección y estimular el crecimiento de las bacterias (Marco *et al.*, 2004). Durante el período de lluvias, la turbidez en los ríos se incrementa debido a las escorrentías, erosión del suelo, sedimentos del fondo, entre otros. Un exceso de sólidos suspendidos totales y sedimentos pueden ser perjudiciales para la vida acuática y humana (Fondriest Environmental, 2014). Cuando la turbidez es alta, se reduce la claridad visual en el agua, se altera el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y puede provocar migraciones de organismos que habitan en éstos (Adams & Mulaba, 2014). La turbidez es una propiedad óptica de una suspensión, hace que la luz se disperse y no pase sobre la suspensión. Los sólidos suspendidos pueden removerse eficientemente con el uso de coagulantes químicos, tales como el alumbre, cloruro férrico y polielectrolitos (Feria *et al.*, 2020).

La coagulación es uno de los procesos más utilizados en el tratamiento de agua, para remover la turbidez, color y materia orgánica. Consiste en la adición de compuestos químicos, para desestabilizar coloides cargados negativamente y formar agregados de partículas suspendidas finas y coloidales en flóculos sedimentables (Sarita *et al.*, 2015; Aziz *et al.*, 2018). Los coagulantes utilizados en el tratamiento de agua pueden clasificarse en coagulantes inorgánicos, polímeros sintéticos y coagulantes naturales (Muruganandam *et al.*, 2017). Los coagulantes químicos utilizados más comúnmente son sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, sulfato ferroso y sulfato férrico. Estos coagulantes inorgánicos son muy efectivos, sin embargo, en algunos países en desarrollo su uso es complicado,



debido a los costos elevados para su importación (Muhammad *et al.*, 2015). Asimismo, estudios recientes han indicado serios inconvenientes, ya que se les ha relacionado con trastornos patológicos y neurológicos que impactan a la salud humana, tales como el Alzheimer y demencia (Aziz *et al.*, 2018; Singh y Saxena, 2020). Por el contrario, los coagulantes naturales son más económicos, nocivos para la salud humana y amigables con el medio ambiente, ya que contienen proteínas y polisacáridos efectivos para el tratamiento del agua y son biodegradables (Latheef *et al.*, 2019; Sinhg y Saxena, 2020). Los coagulantes naturales se han utilizado desde hace miles de años. La mayoría son polímeros orgánicos que pueden obtenerse a partir de extractos de semillas, hojas, raíces y frutas. Varios autores han demostrado que estos coagulantes son una alternativa viable para reducir la turbidez en las aguas superficiales (Barbarán *et al.*, 2017). Los coagulantes naturales presentan alto contenido de proteínas, son de bajo costo y amigables con el medio ambiente (Azrafuzzaman *et al.*, 2011; Feria *et al.*, 2020). La calidad del agua es un término relativo, al que se deben especificar las características necesarias, para el uso que se le va a dar. La turbidez mide el grado de transparencia en el agua, dependiendo de la cantidad de partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua. El sulfato de aluminio es el coagulante más utilizado para remover la turbidez del agua. Su desventaja es que, en el tratamiento de aguas, genera grandes volúmenes de sedimentos con alta concentración de iones metálicos (Aziz *et al.*, 2018). Los iones minerales afectan la calidad de las aguas superficiales, y por ende, los peces presentan problemas en las branquias, limitando su capacidad respiratoria y metabólica, lo que conlleva a un lento crecimiento. Asimismo, el aluminio impacta a los ecosistemas acuáticos, ya que se comporta como un agente tóxico en peces e invertebrados, provocándoles la pérdida de plasma y de iones hemolinfa, lo cual conduce a una insuficiencia osmorreguladora (Rosseland *et al.*, 1990). También estos ecosistemas se han visto afectados, por la influencia de las actividades antropogénicas, lo que ha provocado diversos grados de perturbación, cambios irreversibles, alteración en la circulación de las corrientes, así como la migración de las especies (Velázquez & Vega, 2004).



Algunos estudios han señalado que el aluminio genera problemas de salud para el ser humano, tal como la enfermedad del Alzheimer, varias formas de cáncer y enfermedades neurodegenerativas óseas (Carrasquero *et al.*, 2017, Carrasquero *et al.*, 2019). En estudios de organismos acuáticos en laboratorios, es importante el adecuado mantenimiento de las unidades experimentales, para asegurar la salud y el buen desarrollo de las especies. El no usar sustancias químicas para la limpieza de dichas unidades, hace que se implementen técnicas para remover los desechos orgánicos acumulados en el fondo. Vega *et al.* (2017) señala que, para hacer los recambios de agua, debe extraerse el 30% del volumen total de las unidades experimentales. Los recambios deben hacerse con un sifón, utilizando una manguera fina, para no estresar o dañar a los organismos en experimentación (Vega *et al.*, 2017). Debido a los impactos negativos que causa el sulfato de aluminio al ser humano y a los ecosistemas acuáticos, se realizó un estudio previo donde se evaluó la posibilidad de incorporar almidón de malanga para disminuir la cantidad de aluminio empleado en los tratamientos de agua (López *et al.*, 2014). De los resultados obtenidos se recomendó emplear la mezcla de sulfato de aluminio-almidón pregelatinizado de malanga con concentración de 25 mg-25 mg, respectivamente, como un tratamiento alternativo con buenos resultados para la remoción de turbidez y color. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de estas aguas tratadas en alevines de una especie de pez ampliamente usado en acuicultura y que es resistente al manejo y a variaciones de calidad de agua (tilapia nilótica) y una especie nativa susceptible al manejo y a la mala calidad del agua (mojarra tenguayaca). En particular, la tilapia es un pez con gran capacidad de adaptación, es resistente, se reproduce fácilmente, tolera aguas con pH muy variables y con bajas concentraciones de oxígeno disuelto (Bautista y Ruiz, 2011). Los peces son un grupo importante de organismos que se han utilizado en gran medida como indicadores de la calidad ambiental en los ecosistemas acuáticos. Lo anterior, porque sus etapas tempranas resultan ser sensibles a cambios en la calidad del agua. El uso de la mezcla de almidón pregelatinizado de malanga con sulfato de aluminio puede contribuir significativamente a resolver problemas de alta



turbidez y que en un momento dado se requiera en actividades orientadas al cultivo de especies acuáticas en un medio controlado. También permitiría clarificar las aguas residuales, sin generar impactos adversos en ecosistemas acuáticos donde pudieran ser vertidos después de su tratamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura Tropical (LAT) de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Para evaluar el efecto de la calidad del efluente de agua sintética tratado con mezclas coagulantes de almidones de malanga con sulfato de aluminio, se obtuvieron los almidones de malanga nativo y modificados. Se prepararon las soluciones de los almidones y del sulfato de aluminio, para utilizarlas en las pruebas de jarra durante el tratamiento de aguas sintéticas con alta turbidez. Se determinó la mejor dosis de las mezclas coagulantes, para tomarlo como referencia en la preparación del agua para las peceras. Se diseñaron dos experimentos para evaluar el efecto de la calidad del agua de un efluente de agua sintética tratado con mezclas coagulantes de sulfato de aluminio (SA) más almidón pregelatinizado de malanga (APgm), sobre el desarrollo de especies indicadoras de alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y tenguayaca (*Petenia splendida*). Se expusieron durante un lapso de 30 días, al AST y Agua potable reposada (APR) dos especies indicadoras de la calidad del agua. El sistema utilizado para esta investigación consistió en cinco tratamientos con diferentes niveles de dilución de AST más APR. La característica principal del agua reposada es que está libre de cloro. Los tratamientos se realizaron por triplicado, lo que hizo un total de 15 unidades experimentales. En ambos experimentos se utilizaron alevines de dos semanas de eclosionados, proporcionados por el Laboratorio de



Acuicultura Tropical (LAT), para evaluar su sobrevivencia y crecimiento. En el primer experimento se utilizaron tilapias (*Oreochromis niloticus*) y en el segundo tenguayacas (*Petenia splendida*).

Síntesis de los almidones nativo y modificados de malanga

Los almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) nativo y modificados se obtuvieron según los métodos utilizados en López y col. (2014). Los almidones se pulverizaron y almacenaron en bolsas de polietileno.

Preparación de agua sintética tratada

Las muestras sintéticas de agua se prepararon para obtener turbidez inicial de 400 ± 20 UTN. Se utilizó un suelo arcilloso (tipo vertisol), el cual fue recolectado en la Cuenca baja del Río Blasillo, de la ranchería Buena Vista del municipio de Cárdenas, Tabasco, México. Éste se tamizó en una malla de $45 \mu\text{m}$ (tamiz No. 325, escala ASTM E-11). En un recipiente se colocaron 20 litros de agua purificada, se agregaron 13 g de suelo vertisol y se realizó un mezclado rápido hasta homogeneizar. Se tomaron muestras de agua y se midió la turbidez y el color por triplicado. La turbidez se midió en un turbidímetro marca LaMotte® con precisión de 0.01 UTN (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) (López *et al.*, 2014). Para el tratamiento de estas aguas sintéticas se utilizó la dosis óptima de 50 mg/L de sulfato de aluminio recomendada por López *et al.*, (2014).



Preparación de los tratamientos con agua sintética tratada (AST) y agua potable reposada (APR).

El agua de cada tratamiento se preparó con proporciones de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100 de AST y APR, respectivamente. Se caracterizó inicialmente al agua de cada tratamiento, antes de introducir los organismos de la prueba. Asimismo, durante el desarrollo de los experimentos, se registraron mediciones diarias de los parámetros fisicoquímicos, temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales. También, se realizó biometría inicial a una muestra de 100 organismos, y posteriormente se colocaron al azar 30 peces en cada unidad experimental. Los peces se alimentaron cuatro veces al día. Se realizaron recambios de agua del 50% para cada tratamiento cada tercer día, aforando las peceras cada vez a 10 litros, de acuerdo a la proporción correspondiente. Diariamente se sifoneaban las peceras para eliminar las excretas y alimento no consumido. Al finalizar los experimentos, se realizó una biometría final al total de los peces, para determinar crecimiento mediante el peso y la longitud.



DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se realizaron dos experimentos en los cuales el procedimiento fue el mismo, cambiando solo la especie empleada. En el primer experimento se utilizaron crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y en el segundo crías de la mojarra nativa tenguayaca (*Petenia splendida*). En ambos casos se empleó un diseño completamente aleatorizado de un factor (Concentración de agua sintética tratada) con cinco niveles de proporción AST-APR (100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100). Cada tratamiento contó con tres réplicas (Tabla 1). Las unidades experimentales consistieron en peceras rectangulares de vidrio con 20 L de capacidad (20 x 10 x 10 cm). Se colocaron 10 litros de agua en cada unidad experimental. Se colocaron al azar 30 peces de quince días de edad. Los peces se alimentaban cuatro veces al día con alimento balanceado marca El Pedregal® y se realizaron recambios del 50% de agua cada tres días. Diariamente se sifoneaban las peceras para eliminar excretas y alimento no consumido. Al final de 30 días, tras los cuales el experimento concluyó, se realizó una biometría al total de los peces para determinar el crecimiento mediante el peso y la longitud.

Tabla 1. Tratamiento de agua sintética tratada en los experimentos

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5
Proporción de AST/APR (%)	100/0	75/25	50/50	25/75	0/100
Volumen de AST-APR (L)	10-0	7.5-2.5	5-5	2.5-7.5	0-10

AST: Agua sintética tratada; APR: Agua potable reposada L: Litros



ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS.

Posterior a la verificación de la normalidad y la homocedasticidad de los datos (prueba de Bartlett; $p > 0.05$), se realizó un análisis de varianza simple (ANOVA) para determinar si existían diferencias estadísticas entre las medias de peso, longitud y supervivencia de los tratamientos (experimento con tilapias), seguido de un contraste múltiple de rangos de Tukey. En caso de no cumplirse los postulados de la estadística paramétrica, se procedió a utilizar una prueba de contraste de medianas de Kruskal Wallis (KW) (experimento con tenguayacas), seguido de un contraste múltiple de medianas de Bartlett. Para los contrastes de la variable supervivencia, se empleó la transformación arcoseno de los porcentajes; sin embargo, los gráficos se realizaron con los valores originales de porcentaje. El límite de confianza empleado para todas las pruebas estadísticas fue de $\alpha = 0.05$. Para todos los análisis se empleó el software Statgraphics Centurión® v18. Los análisis gráficos se hicieron con el paquete SigmaPlot® v4. Los valores son representados por la media \pm desviación estándar (DE) para el experimento con tilapias y por la mediana \pm el rango intercuartil (RI) para el experimento con tenguayacas.



RESULTADOS

Exposición de tilapia a aguas tratadas

El análisis de varianza indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para el peso ni para la longitud (ANOVA; $p=0.94$ y $p=0.49$; respectivamente). Los valores promedio de peso variaron entre 0.41 y 0.47 g. El valor promedio más bajo fue para el tratamiento 50/50, que coincide con el tratamiento 100/0, mientras que el peso más alto lo obtuvo el tratamiento 0/100. La misma tendencia fue observada para la longitud, variando entre 33.07 y 35.01 mm (Tabla 2).

La sobrevivencia no mostró diferencias estadísticamente significativas (ANOVA; $p>0.10$), teniendo un rango de variación entre 63.33 y 74.44 % (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio (\pm DE) de peso, longitud y sobrevivencia de tilapias obtenidos bajo diferentes proporciones de agua sintética tratada y agua potable reposada.

Tratamiento	Peso (g)	Longitud (mm)	Sobrevivencia (%)
100/0	$0.41 \pm 0.13_a$	$33.07 \pm 4.50_a$	$66.67 \pm 3.33_a$
75/25	$0.42 \pm 0.18_a$	$34.06 \pm 5.02_a$	$63.33 \pm 3.36_a$
50/50	$0.41 \pm 0.12_a$	$33.10 \pm 4.13_a$	$63.33 \pm 3.33_a$
25/75	$0.44 \pm 0.19_a$	$34.08 \pm 6.06_a$	$66.67 \pm 8.82_a$
0/100	$0.47 \pm 0.17_b$	$35.01 \pm 5.03_b$	$74.44 \pm 5.09_b$

Los parámetros ambientales se encontraron dentro de valores aceptables para el cultivo de la tilapia (tabla 3).



Tabla 3. Valores promedio (\pm DE), de Nitratos (NO_3^-) Nitritos (NO_2^-) y Amonio (NH_4^+) observados durante el cultivo de tilapia bajo diferentes proporciones de agua sintética tratada y agua potable reposada.

Tratamiento	NO_3^- (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)
100/0	69.68 \pm 67.33	11.50 \pm 18.63	0.32 \pm 0.01
75/25	74.56 \pm 62.07	20.50 \pm 35.51	4.47 \pm 7.72
50/50	46.06 \pm 16.83	4.00 \pm 5.27	4.48 \pm 7.70
27/75	40.61 \pm 29.98	3.50 \pm 3.46	4.47 \pm 7.71
0/100	41.64 \pm 11.92	4.50 \pm 3.97	4.47 \pm 7.71

Exposición de tenguayacas a aguas tratadas.

La prueba de contraste de medianas de Kruskal-Wallis indica que existen diferencias estadísticas entre tratamientos para el peso y para la longitud (KW; $p=0.01$ y $p=0.03$; respectivamente). Las medianas de peso oscilaron entre 0.41 y 0.47 g. El valor de mediana más bajo fue para el tratamiento 100/0 mientras que el peso más alto lo obtuvo el tratamiento 0/100. En el caso de la longitud, se observó la misma tendencia, variando las medianas entre 33.07 y 35.01 mm. En ambos casos, la prueba a posteriori de Bonferroni indica que las diferencias observadas correspondieron únicamente entre el tratamiento 0/100 y el tratamiento 100/0 ($p<0.05$) (Tabla 4).

La sobrevivencia presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (ANOVA; $p<0.01$), siendo mayor en el tratamiento con 100% de agua reposada (74.44%) mientras que los demás tratamientos no mostraron diferencias estadísticas variando entre 63.33% y 66.67%.



Tabla 4. Valores promedio (\pm DE) de peso, longitud y supervivencia de tenguayacas obtenidos bajo diferentes proporciones de agua sintética tratada y agua potable reposada.

Tratamiento	Peso (g)	Longitud (mm)	Supervivencia (%)
100/0	0.41 \pm 0.13 _a	33.07 \pm 4.50 _a	66.67 \pm 3.33 _a
75/25	0.42 \pm 0.18 _a	34.06 \pm 5.02 _a	63.33 \pm 3.36 _a
50/50	0.41 \pm 0.12 _a	33.10 \pm 4.13 _a	63.33 \pm 3.33 _a
27/75	0.44 \pm 0.19 _a	34.08 \pm 6.06 _a	66.67 \pm 8.82 _a
0/100	0.47 \pm 0.17 _b	35.01 \pm 5.03 _b	74.44 \pm 5.09 _b

Los parámetros ambientales fueron ligeramente más altos que los observados en el experimento con tilapias, sin embargo, se encuentran dentro de los valores aceptables para el cultivo de peces (Tabla 5).

Tabla 5. Valores promedio (\pm DE) de Nitratos (NO_3^-), Nitritos (NO_2^-) y Amonio (NH_4^+) observados durante el cultivo de tenguayaca bajo diferentes proporciones de agua sintética tratada y agua potable reposada.

Tratamiento	Nitratos (NO_3^-) mg/L	Nitritos (NO_2^-) mg/L	Amonio (NH_4^+) mg/L
1	73.24 \pm 66.80	15.00 \pm 12.82	2.46 \pm 3.05
2	56.11 \pm 57.97	15.00 \pm 6.87	1.56 \pm 1.45
3	116.54 \pm 51.41	20.00 \pm 17.51	1.31 \pm 1.65
4	72.36 \pm 64.61	21.00 \pm 12.99	1.22 \pm 1.37
5	76.05 \pm 61.56	21.50 \pm 11.06	1.55 \pm 1.67

Parámetros fisicoquímicos del experimento de tenguayaca.



DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación sobre la remoción de turbidez, muestran que la mezcla coagulante de sulfato de aluminio con almidón modificado de malanga, pregelatinizado (APgm), tiene una capacidad de coagulación similar a los coagulantes metálicos en el proceso de coagulación-floculación. Por lo que se considera una alternativa viable, para el tratamiento de aguas superficiales con altos niveles de turbidez (>400 UTN). El porcentaje de remoción de turbidez obtenido fue de 94% con una dosis de APgm de 15 mg/L. Estos resultados son semejantes a los reportados por Carrasquero *et al.* (2017), quienes utilizaron soluciones coagulantes de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) en muestras de agua con turbidez de 200 UTN, obteniendo porcentajes de remoción de 99.6 y 99.5% con dosis de 50 y 25 mg/L respectivamente. Asimismo, Sandoval (2013) obtuvieron resultados que coinciden con los mostrados en este estudio. Utilizaron polvo de semillas de moringa en solución de cloruro de sodio, obteniendo 92% de remoción de turbidez con una dosis de 15 mg/L. Por su parte, los resultados de Solís *et al.* (2012) mostraron una remoción de turbidez del 97.9% en muestras de aguas superficiales, utilizando mezclas coagulantes de sulfato de aluminio y almidón de yuca. Estos resultados son parecidos a los obtenidos con el almidón de malanga pregelatinizado (APgm) utilizado en esta investigación. Por su parte, los resultados de Olivero *et al.* (2014) mostraron resultados diferentes con los obtenidos en esta investigación, ya que evaluaron el poder coagulante del cactus *Opuntia ficus-indica* y el alumbre, obteniendo porcentajes de remoción de turbidez de 83.66% y 99.8% respectivamente, utilizando concentraciones de 35 y 40 mg/L para ambos coagulantes en muestras de aguas superficiales. Estos resultados no cumplen con los requeridos por la normatividad técnica colombiana para agua potable, sin embargo, es una alternativa para mejorar la clarificación del agua, la cual puede ser utilizada en otras actividades. Por otro lado, Tarón *et al.* (2017) mostraron resultados que no corresponden a los obtenidos en este estudio, ya que



obtuvieron 68.15% de remoción de turbidez con dosis de 160 mg/L de coagulante de polvo de semilla de *C. fistula*, en el que se observa una mayor dosis de coagulante, comparado con los 15 mg/L de APgm. Los resultados obtenidos en esta investigación, a partir del uso de coagulantes naturales, muestran altos porcentajes de remoción de turbidez en muestras de aguas. Lo anterior, coincide con otros autores que los coagulantes naturales son una alternativa viable en el tratamiento de aguas superficiales. Además, de minimizar impactos negativos hacia la salud humana, especies acuáticas y al medio ambiente. El agua sintética tratada en este estudio con la mezcla de sulfato de aluminio y almidón pregelatinizado de malanga, fue evaluada mediante dos experimentos, en los que se utilizaron organismos acuáticos, alevines de tilapias (*Oreochromis niloticus*) y tenguayacas (*Petenia splendida*), como especies indicadoras de la calidad del agua. Los resultados de los parámetros de calidad del agua evaluados para ambos experimentos mostraron valores aceptables con respecto a otros autores. El rango de pH obtenido para estos experimentos oscila entre los valores de 6.5 y 7. Los valores de pH observados no afectan el crecimiento, ni la sobrevivencia de la tilapia. Vega *et al.*, (2015) reportaron que a $\text{pH} > 6$ la concentración tóxica de aluminio se inhibe en experimentos usando alevines de trucha; en esta investigación el pH alcanzó valores arriba de 6, por lo que se reduce el efecto de intoxicación causado por el aluminio en el agua, Además, la tilapia es un pez que tolera aguas con variabilidad significativa de pH y bajas concentraciones de oxígeno disuelto (OD).



CONCLUSIÓN

Con base en los resultados en este estudio, se demostró que el uso de coagulantes naturales son una alternativa viable para remover la turbidez en el tratamiento de aguas. También permiten reducir la cantidad de sulfato de aluminio, coagulante convencional utilizado para la clarificación del agua, el cual es precursor de la enfermedad del Alzheimer y es nocivo para el medio ambiente. Se observó que la mezcla coagulante de almidón de malanga pregelatinizado con sulfato de aluminio, removió eficazmente la turbiedad en muestras de aguas. Asimismo, ese efluente fue evaluado con crías de dos especies de peces, tilapia y tenguyaca, en donde se observó que no se presentaron alteraciones en el peso ni el crecimiento de dichas especies. Adicionalmente, es relevante mencionar que con la mezcla coagulante utilizada se logró la remoción del 95% de la turbidez en el agua. Estos resultados representan una alternativa sustentable tanto para el tratamiento de agua, como para el manejo en actividades realizadas en un sector preponderante como es la acuacultura.



REFERENCIAS

- Adams F. V. y Mulaba-Bafubiandi A. F. (2014). Application of rice hull ash for turbidity removal from water. *Physics and Chemistry of the Earth*. 72-75 (73-76) Elsevier.
- Asrafuzzaman, Md., Fakhruddin, A.N.M. & Alamgir H, Md. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiology*. Volume 2011, ID 632189, 6 pages. Doi: 10.5402/2011/632189.
- Aziz H.A., Yii Y.C., Syed Zainal S.F.F., Ramli S.F. y Akinbile C.O. (2018). Effects of using *Tamarindus indica* seeds as a natural coagulant aid in landfill leachate treatment. *Global Nest Journal*. Vol 20, No. 2, pp 373-380.
- Barbarán S.H., López C. J. & Chico R. J. (2017). Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*Prunus pérsica*) y palta (*Persea americana*). *Sagasteguiana* 5(1): 7-16. ISSN 2309-5644.
- Bautista C, J.C., Velazco A, J.M.J.R. (2011). Calidad de agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente*, Año 3 No. 8.
- Carrasquero F, S.J., Montiel F, S., Faría P, E.D., Parra F, P.M., Marín L, J.C. & Díaz M, A.R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuo de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. Vol 13 (2), 90-99, ISSN 1900-4699.
- Carrasquero, S., Martínez, M.F., Castro, M.G., López Y., Díaz, A. & Colina, G. (2019). Remoción de turbidez usando semillas de *Tamarindus indica* como coagulante en la potabilización de aguas. *Revista Bases de la Ciencia*. Vol. 4, No. 1 (19-44). ISSN 2588-0764.
- Feria, J.J., Altamiranda, J.E., Soto, C.H. (2020). Uso de semillas de *Tamarindus indica* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Revista Espacios*. Vol. 41(38). Art. 17. ISSN: 0798-1015.
- Fondriest Environmental, Inc. "Turbidity, Total Suspended Solids and Water Clarity." *Fundamentals of Environmental Measurements*. 13 Jun. 2014. Web. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/turbidity-total-suspended-solids-water-clarity/>.



- Latheef, A., Saheed, S.M., Basheer, A.K., Amjed, P.S. & Johnson, J. (2019). Water treatment using natural coagulants. International researches journal of Engineering and technology (IRJET). Volume: 06, Issue: 06, pp. 509-512.
- López V, R., Laines C, J.R., Hernández B, J.R. & Aparicio T, M.A. (2014). Evaluación de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) como agentes coadyuvantes en la remoción de turbiedad en procesos de potabilización de agua. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Vol. 13, Núm.3, pp. 855-863, ISSN: 1665-2738.
- Marco, L., Azario, R., Metzler, C., & García. M.C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay. Higiene y Sanidad Ambiental, 4: 72-82.
- Muhammad I. M., Abdulsalam S., Abdulkarim A. & Bello A. A. (2015). Watermelon seed as potential coagulant for water treatment. Global Journals of Researches in Engineering: Chemical Engineering. Vol. 15 Issue 1 Versión. Online ISSN: 2249-4596 & Print ISSN: 0975-5861
- Muruganandam, L., Saravana K. M.P., Jena, A., Gulla, S. & Godhwani, B. (2017). Treatment of wastewater by coagulation and flocculation using biomaterials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 263, 373-380. 2017, De IOP Publishing Base de datos.
- Olivero V, R.E., Aguas M, Y.R., Mercado M, I.D., Casas C, D.P. y Montes G, L.E. Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. Avances Investigación en Ingeniería. Vol. 11 No. 1, ISSN: 1794-4953.
- Rosseland, B.O., Eldhuset, T.D. & Staurnes, M. (1990). Environmental effects of aluminium. Environ Geochem Health. 12, 17-27. <https://doi.org/10.1007/BF01734045>.
- 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.
- Saritha V., Srinivas N., Srikanth V.N.V. (2015) Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. Appl Water Sci, 7:451-460. CrossMark. DOI: 10.1007/s13201-014-0262-y
- Singh, P. y Saxena, I. (2020), septiembre 13). Yamuna river water treatment using a natural coagulant of *Citrullus lanatus* seeds. World Scientific News, 149, 52-63. 2020, septiembre 12, De World Scientific News Base de datos.



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.

Vega V, F., Guerrero G, S.R., Mejía A, B., García Q. M, R., Olimpia Ch, C. & Badillo Z, D. (2017). Acuicultura experimental y calidad de agua, Prácticas. Universidad de Guadalajara, 1^a Edición. ISBN: 978-607-742-975-3.

Velázquez V, E.V., y Vega C, M.E. (2004). Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *BioDiversitas*, CONABIO. 57:12-15.



CAPITULO V

CONCLUSIONES GENERALES



5.1 CONCLUSIONES GENERALES

La calidad del agua es un término relativo que se aplica en función al uso que se le vaya a dar. En este trabajo de investigación se buscaron alternativas no convencionales para mejorar la clarificación del agua. Los resultados obtenidos muestran que los coagulantes naturales son una alternativa viable para el tratamiento de agua, además de sus bajos costos comparados con los coagulantes inorgánicos. Los coagulantes naturales que se utilizaron fueron los almidones de banano (*Musa AAA*) y de malanga (*Colocasia esculenta*). Las mezclas utilizadas de sulfato de aluminio con los almidones mencionados presentaron altas remociones de turbiedad y color durante el proceso de coagulación-floculación. Una ventaja importante del uso de este tipo de coagulantes, es la reducción de la cantidad de sulfato de aluminio, lo cual coadyuva a minimizar los impactos negativos que éste ocasiona a la salud humana y al medio ambiente. También se demostró con esta investigación, que los efluentes tratados con estas mezclas coagulantes, no causan efectos negativos de sobrevivencia, crecimiento y peso en peces, tales como, la tilapia y la tenguayaca. Dentro de las recomendaciones contempladas para futuras investigaciones, sería la determinación de la concentración del aluminio residual (Al^{+3}) en los efluentes tratados, con el objetivo de tener un dato más preciso, para este análisis se requiere de un espectrofotómetro de absorción atómica. También, surgió el interés de analizar las crías de peces que no sobrevivieron, para saber el motivo de los decesos. Estos planteamientos dan pauta para otras investigaciones a futuro en esta misma línea de investigación.



REFERENCIAS

- Abatneh, Y., Sahu, O., & Yimer, S. (2014). Purification of drinking water by low cost method in Ethiopia. *Applied Water Science, Litherland 1995*.
<https://doi.org/10.1007/s13201-013-0151-9>
- Adams, F.V., & Mulaba-Bafubiandi, A.F. (2014) Application of rice hull ash for turbidity removal from water. *Physics and Chemistry of the Earth*. 72-75, 73-76.
- Ali, E. N., Muyibi, S. A., Salleh, H. M., Alam, M. Z., Ramlan, M., Salleh, M. (2010). Production of Natural Coagulant from Moringa Oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. *Journal Water Resource and Protection*, 2, 259-266.
- Anastasakis, K., Kalderis, D., Diamadopoulos, E. (2009). Flocculation behaviour of mallow and okra mucilage in treating wastewater. *Desalination* 249, 786-791.
- 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.
- 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 doctoral. Instituto tecnológico de Veracruz*. pp.118-119.
- Asrafuzzaman, Md., Fakhrudin, A.N.M. & Hossain, A. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. Volume 2011, Article ID632189.
- ASTM D2035-08 (2008). *Standard practice for coagulation-flocculation jar test of water*, American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, USA
- Azis, H.A., Yii, Y.C., Syed Z, S.F.F., Ramil, S.F. & Akinbile, C.O. (2018). Effects of using Tamarindus indica Seeds as natural coagulant aid in landfill leachate treatment. *Global NEST Journal*, Vol. 20, No. 2, pp 373-380.
- Azis H.A., Yii Y.C., Syed Zainal S.F.F., Ramli S.F. y Akinbile C.O. (2018). Effects of using Tamarindus indica sedes as a natural coagulant aid in landfill leachate



- treatment. *Global Nest Journal*. Vol 20, No. 2, pp 373-380.
- Barbarán S.H., López C. J. & Chico R. J. (2017). Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*Prunus pérsica*) y palta (*Persea americana*). *Sagasteguiana* 5(1): 7-16. ISSN 2309-5644.
- Barreto P, S., Vargas M, D.K., Ruíz M, L & Gómez A, S.L. (2019). Evaluación de coagulantes naturales en la clarificación de aguas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental, RIAA*. Bogotá-Colombia, Vol.11 No. 1: 105-116. e-ISSN: 2145-6453.
- Bautista C, J.C., Velazco A, J.M.J.R. (2011). Calidad de agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente*, Año 3 No. 8.
- Beltrán-Heredia, J. y Sánchez-Martín, J. (2009). Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. *Desalination* 249, 353-358.
- Bhuptawat H., Folkard G. K. y Chaudari S. (2007). Innovative physic-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 Chervonetsky, 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.
- Carrasquero F, S.J., Montiel F, S., Faría P, E.D., Parra F, P.M., Marín L, J.C. & Díaz M, A.R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuo de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. Vol 13 (2), 90-99, ISSN 1900-4699.
- Carrasquero, S., Martínez, M.F., Castro, M.G., López, Y., Díaz, A. y Colina G. (2019). Remoción de turbidez usando semillas de *Tamarindus indica* como coagulante en la potabilización de aguas. *Revista Bases de la Ciencia*. Vol. 4



No. 1 (19-44).

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.

Feria, J.J. J.J., Altamiranda, J.E., Soto, C.H. (2020). Uso de semillas de Tamarindus indica como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Revista Espacios*. Vol. 41(38). Art. 17. ISSN: 0798-1015.

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.

Fondriest Environmental, Inc. "Turbidity, Total Suspended Solids and Water Clarity." *Fundamentals of Environmental Measurements*. 13 Jun. 2014. Web. <<https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/turbidity-total-suspended-solids-water-clarity/>>.

Food and Agriculture Organization, FAO (2014). Recurso electrónico: <http://apps.fao.org/faostat>, último acceso: 16 de enero de 2014.

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'Bassigié, 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.
- Kopytko, M.I., Rueda V., E.P. (2014). Application of natural product (Aloe vera) in coagulation-flocculation procedures, for water treatability study. IJESIT (International Journal of engineering science and innovative technology). Volume 3, Issue 3. ISSN: 2319-5967.
- Kumari, P., Sharma, P., Srivastava, S., Srivastava, M.M. (2005) Arsenic removal from the aqueous system using plant biomass: a bioremedial 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.
- Latheef, A., Saheed, S.M., Basheer, A.K., Amjed, P.S. & Johnson, J. (2019). Water treatment using natural coagulants. *International researches journal of Engineering and technology (IRJET)*. Volume: 06, Issue: 06, pp. 509-512.
- Lim, S., Seib, P.A. (1993). Preparation and pasting properties of wheat and corn starch phosphates. *Cereal Chemistry* 70, 137-144.
- López V, R., Laines C, J.R., Hernández B, J.R. & Aparicio T, M.A. (2014). Evaluación de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) como agentes coadyuvantes en la remoción de turbiedad en procesos de potabilización de agua. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 13, Núm.3, pp. 855-863, ISSN: 1665-2738.
- Malik, Q.H. (2018). Performance of alum and assorted coagulants in turbidity removal of muddy water. *Applied Water Science*. 8:40.



- Marco, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M.C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4: 72-82.
- 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.
- Muhammad I. M., Abdulsalam S., Abdulkarim A. & Bello A. A. (2015). Watermelon seed as potential coagulant for water treatment. *Global Journals of Researches in Engineering: Chemical Engineering*. Vol. 15 Issue 1 Versión. Online ISSN: 2249-4596 & Print ISSN: 0975-5861.
- Muruganandam, L., Saravana K. M.P., Jena, A., Gulla, S. & Godhwani, B. (2017). Treatment of wastewater by coagulation and flocculation using biomaterials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263, 373-380. 2017, De IOP Publishing Base de datos.
- Muthuraman, G. & Sasikala, S. (2014). Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 20 1727-1731.
- 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.
- Olivero V, R.E., Aguas M, Y.R., Mercado M, I.D., Casas C, D.P. y Montes G, L.E. Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación en Ingeniería*. Vol. 11 No. 1, ISSN: 1794-4953.



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.

Ramavandi, B. (2014). Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovata*. *Water Resources and Industry*. 6, 2212-3717

Ramírez A, H., Jaramillo P, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Universidad Militar Nueva Granada. Volumen 11, No. 2 pp. 136-153. ISSN 1900-4699

Ravikumar, K. & Sheeja, Ak. (2012). Water clarification using *Moringa oleifera* seed coagulant. *International Conference on Green Technologies (ICGT), Trivandrum*, 064–070. <https://doi.org/10.1109/ICGT.2012.6477949>

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.

Rosseland, B.O., Eldhuset, T.D. & Staurnes, M. (1990). Environmental effects of aluminium. *Environ Geochem Health*. 12, 17-27. <https://doi.org/10.1007/BF01734045>.

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.

Saravanan, J., Priyadharshini, D., Soundammal, A., Sudha, G. & Suriyakala, K. (2017). Wastewater treatment using natural coagulants. *International Journal of Civil Engineering*. Vol. 4, Issue 3.



- Saritha, V., Srinivas, N. & Srikanth V, N.V. (2015). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Appl. Water Sci.* 7:451-460. DOI 10.1007/s13201-014-0262-y
- 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.
- Singh, P. y Saxena, I. (2020), septiembre 13). Yamuna river water treatment using a natural coagulant of *Citrullus lanatus* seeds. *World Scientific News*, 149, 52-63. 2020, septiembre 12, De World Scientific News Base de datos.
- 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.
- Tarón D, A.A., Guzmán C, L.E., Barros P, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, Vol.21, Núm.1, 2017, pp.73-78.
- Teh, C.Y., Wu, T.Y. & Juan, J.C. (2014). Potential use of rice starch in coagulation-flocculation process of agro-industrial wastewater: Treatment performance and flocs characterization. *Ecological Engineering*. 71, 509-519.
- Torres Zapata A., Aparicio Trápala M., Blé Castillo J y Corzo Sosa C. 2011. Respuesta glucémica e insulínica de pacientes con diabetes tipo 2 al consumo de calabaza criolla (*Cucúrbita Pepo L.*) enriquecida con almidón de banano. *Información Tecnológica*, 23(2): 71-86
- 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.



- Vega V, F., Guerrero G, S.R., Mejía A, B., García Q. M, R., Olimpia Ch, C. & Badillo Z, D. (2017). *Acuicultura experimental y calidad de agua, Prácticas*. Universidad de Guadalajara, 1ª. Edición. ISBN: 978-607-742-975-3.
- Velázquez V, E.V., y Vega C, M.E. (2004). Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *BioDiversitas*, CONABIO. 57:12-15.
- WWAP. (2016). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. <https://doi.org/978-92-3-300045-2>
- WWAP. (2019). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO*. 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. ISBN 978-92-3-300108-4.
- 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.