

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Aplicación de superficie de respuesta en la eficiencia de  
remoción de turbidez de agua empleando almidón de  
*Dioscorea bulbífera* y *Musa paradisiaca*: una revisión**

Por:

Yosselin Suarez Tineo

Nilser Kenneth Rosas Huamán

Asesor:

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

**Lima, julio de 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

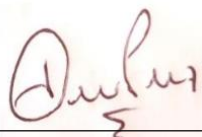
Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “**Aplicación de superficie de respuesta en la eficiencia de remoción de turbidez de agua empleando almidón de Dioscorea bulbifera y Musa Paradisiaca: Una revisión**” constituye la memoria que presenta los estudiantes **Yosselin Suarez Tineo y Nilser Kenneth Rosas Huaman** para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Ambiental cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 20 días de agosto del año 2020.



---

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....30..... día(s) del mes de..... julio..... del año ..2020...siendo las...10:00.. horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):  
.....PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala....., el(la) secretario(a):  
..... Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas..... y los demás miembros:  
.....Ing. Nancy Curasi Rafael, Mg. Ronald Hugo Rosales Meza.....  
.....y el(la) asesor(a) .....Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio.....  
.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado:..... Aplicación de superficie de respuesta en la eficiencia de remoción de turbidez de agua empleando almidón de Dioscorea Bulbifera y Musa Paradisiaca: Una revisión.....  
.....de los (las) egresados (as): a) Nilser Kenneth Rosas Huamán.....  
..... b) Yosselin Suarez Tineo.....  
.....conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en  
.....Ingeniería Ambiental.....  
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando.... a los.... candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por.... los.... candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Nilser Kenneth Rosas Huamán.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato/a (b): Yosselin Suarez Tineo.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ... a los... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente/a

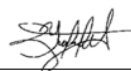
  
\_\_\_\_\_  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Asesor/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

  
\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)

  
\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

# Aplicación de superficie de respuesta en la eficiencia de remoción de turbidez de agua empleando almidón de *Dioscorea Bulbifera* y *Musa Paradisiaca*: Una revisión

## APPLICATION OF RESPONSE SURFACE IN THE REMOVAL EFFICIENCY OF WATER TURBIDITY USING DIOSCOREA BULBÍFERA AND MUSA PARADISIACA STARCH: A REVIEW

YOSSELIN SUAREZ TINEOS\*, NILSER KENNETH ROSAS HUAMÁN§  
*Universidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Central Km.19.5 Ñaña-Chosica*

### Resumen

La coagulación-floculación son procesos primordiales para la clarificación del agua, ya que permiten remover partículas suspendidas causantes de la turbiedad, los coagulantes químicos son tradicionalmente empleados en estos procesos, pero, su uso es cuestionado porque produce efectos negativos al ambiente y salud humana. Esta problemática ha originado el estudio de coagulantes naturales como los almidones. Por ello, este trabajo presenta una revisión de 17 investigaciones donde utilizan almidones de plátano y papa como coagulantes naturales y 5 en las cuales se aplica la metodología de superficie de respuesta (RSM). En 10 trabajos se presenta resultados de remoción de turbidez cercanas e inferiores a 10 NTU, que dependieron de la concentración (1%), dosis del coagulante (50mg/L) y pH entre 3-6 (almidón de plátano) y 5-8 (almidón de papa). Por otro lado, 5 estudios evidencian que la aplicación de la RSM permite optimizar los parámetros utilizados en el proceso de coagulación-floculación. En conclusión, las revisiones demuestran que el almidón de papa y plátano resultan ser eficientes en la remoción de turbidez, obteniendo la papa valores de turbidez final menores a la del plátano.

Palabras Claves: Coagulación-floculación, coagulantes naturales, almidón, remoción de turbidez, superficie de respuesta

### Abstract

Coagulation-flocculation are essential processes for water clarification, since they allow the removal of suspended particles that cause turbidity, chemical coagulants are traditionally used in these processes, but their use is questioned because they produce negative effects on the environment and human health. This problem has led to the study of natural coagulants such as starches. For this reason, this work presents a review of 17 researches where banana and potato starches are used as natural coagulants and 5 in which the response surface methodology (RSM) is applied. In 10 works, turbidity removal results near and below 10 NTU are presented, which depended on the concentration (1%), coagulant dose (50mg / L) and pH between 3-6 (banana starch) and 5-8 (potato starch). On the other hand, 5 studies show that the application of RSM allows optimizing the parameters used in the coagulation-flocculation process. In conclusion, the reviews show that potato and banana starch turn out to be efficient in removing turbidity, the potato obtaining final turbidity values lower than that of plantain.

Keywords: Coagulation-flocculation, natural coagulants, starch, turbidity removal, response surface

\*Suarez Tineo Yosselin, \*Rosas Huaman Nilser Kenneth

Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima

E-mail: [yosselinsuarez@upeu.edu.pe](mailto:yosselinsuarez@upeu.edu.pe)- [nilserrosas@upeu.edu.pe](mailto:nilserrosas@upeu.edu.pe)

## Introducción

El acceso al agua potable es importante tanto para la salud pública como para el desarrollo socioeconómico de un país; la agricultura, ganadería, industria, comercio y la vida diaria depende del agua en cantidad y calidad suficiente (Ferrer et al., 2017). Su escasez, debido al crecimiento de la población, alteración de la calidad de las fuentes de agua y la mala gestión (UNICEF, 2016), además de ser las causas principales de la pobreza y muerte de 1,5 millones de niños anualmente, generan retrasos en el desarrollo de una población. (ONU, 2019).

Para que el agua pueda ser utilizada para el consumo humano, tiene que pasar por varios procesos de tratamiento, la coagulación y la floculación son uno de los más importantes, ya que, permiten remover partículas suspendidas y coloidales (turbidez). Para lo cual, es necesario la utilización de agentes coagulantes, así como coadyuvantes (Reyes & Guevara, 2018)

Las sales de aluminio y hierro a menudo son empleadas como agentes coagulantes en las plantas de tratamiento de agua, sin embargo, el uso de estos químicos presenta una serie de desventajas, como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y alteración al pH del agua tratada. (Guzmán et al., 2013), Asimismo, existe evidencia de que los coagulantes, a base de aluminio acarrear riesgos de padecer la enfermedad del Alzheimer, también la inhalación de este metal produce fibrosis pulmonar (Vázquez & Montoya, 2004). Por ello existe la necesidad de buscar nuevas alternativas para sustituirlos, como los coagulantes de origen natural.

El uso de coagulantes naturales como los almidones llega a coadyuvar o sustituir a los polímeros químicos, son menos tóxicos, por lo tanto, amigables con el medio ambiente, tienen una eficiencia similar en la clarificación del agua y pueden reducir los costos operativos (Yin, 2010).

Para optimizar los resultados de remoción de turbidez en el proceso de coagulación-floculación es necesario la aplicación de diseños estadísticos como el método de superficie de respuesta, que permite modelar y analizar las variables que influyen en la clarificación del agua. Por lo expuesto, este trabajo presenta una revisión de las múltiples investigaciones del uso de almidones de plátano y papa como coagulantes naturales para la remoción de turbidez de agua (Lemma & Rodríguez, 2012).

## Desarrollo

### Contaminantes presentes en las fuentes de agua

Son clasificados en 3 de acuerdo a su tamaño, como:

*Sólidos suspendidos (mayores a  $10^{-6}m$ ):* Suelen ser de origen mineral (arena, arcillas) u orgánicos (producto de la descomposición de plantas y animales), y son los causantes de la turbiedad y color del agua (Guzmán et al., 2013).

*Partículas coloidales:* Son sólidos suspendidos con un tamaño entre  $10^{-6}$  y  $10^{-9}$  m y una velocidad de sedimentación muy lenta, estos se encargan de producir la turbidez y del color del agua, por lo general están cargadas negativamente (Vargas & Romero, 2006).

*Sustancias disueltas (menores de  $10^{-9}m$ ):* Son aquellas sustancias inorgánicas (cationes y aniones), así como sustancias orgánicas (ácidos, alcoholes y aldehídos) (Guzmán et al., 2013).

## Coagulación-Floculación

La coagulación y floculación son métodos primordiales para remover las partículas coloidales y suspendidas (80% a 90%). A través de este proceso, también se elimina el color y las bacterias presentes en el agua (Muñoz, 2019). En el proceso de coagulación un sistema se transforma de un estado estable a un estado desestabilizado, mientras que en la floculación las partículas desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores llamados flóculos (Arboleda, 1992)

La desestabilización de los coloides es obtenida por medio de los siguientes mecanismos de coagulación:

### *Comprensión de la capa difusa*

Este mecanismo se refiere al aumento de la cantidad de coagulante o electrolito y la incorporación de contraiones (Romero, 2019).

### *Adsorción para producir la neutralización de la carga*

Este mecanismo permite que algunas especies coagulantes, puedan ser adsorbidas en la parte superficial de las partículas coloidales (Ojeda, 2012), la desestabilización en este mecanismo se da por la mezcla entre coagulantes con coloides, con disolventes y coloides con disolventes (CEPIS, 2004)

### *Mecanismo de barrido*

Se produce cuando se agrega una concentración de coagulantes muy elevada, que excede el límite de solubilidad de este compuesto en el agua, es así como se precipitan los hidróxidos que se forman por reacción de la alcalinidad y el agua con coagulantes, finalmente se produce un floc de barrido que atrapa en su caída a los coloides y partículas suspendidas (Ojeda, 2012).

## Etapas del proceso de coagulación

El proceso de coagulación se lleva a cabo en un tiempo muy corto en la cual se presentan las siguientes etapas: Comienza al añadirse el coagulante al agua, esto causa la desestabilización de las partículas en suspensión, con lo cual se forman productos hidrolizados cargados positivamente, luego los coloides adsorben las cadenas poliméricas, seguidamente se da la adsorción mutua entre coloides y finalmente se produce el barrido y sedimentación (Andía, 2000).

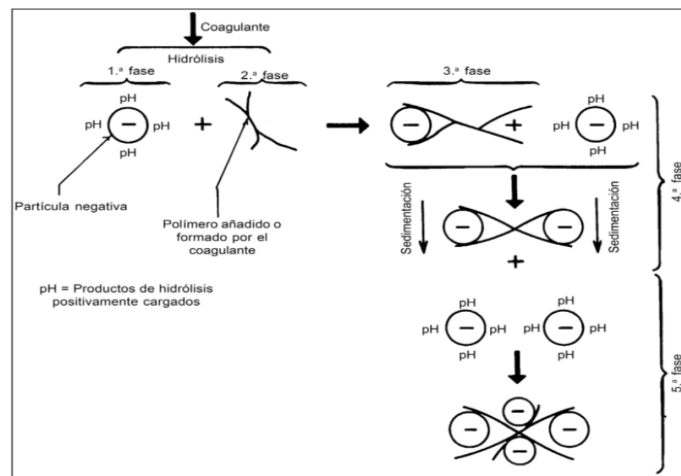


Figura 1. Modelo esquemático del proceso de coagulación

Fuente 1. (Andía, 2000)

## Principales factores que influyen en el proceso de coagulación- floculación

### *pH*

Andía, (2000) y Arboleda, (1992), indican para cada tipo de agua existe un rango óptimo de pH con el cual el proceso se realiza rápidamente, por ende en caso de llevar a cabo el proceso de coagulación con un pH fuera de rango se debe incrementar la cantidad del coagulante.

### *Turbiedad*

La concentración de partículas presentes en el agua varía constantemente, debido a ello antes de la coagulación se debe considerar que para cada turbiedad hay una cantidad de coagulante ya fijada con el cual se obtendrá una remoción eficiente (Andía, 2000). Cuando la turbidez incrementa no se debe aplicar tanto coagulante porque puede ocasionar problemas, pero si la turbidez es baja es recomendable adicionar más coagulante (Cueva, 2014).

### *Temperatura*

Las variaciones de la temperatura afectan el proceso de coagulación-floculación, la disminución de este parámetro conlleva al aumento de su viscosidad, debido a esto se producen problemas en la sedimentación de un floc (Andía, 2000). También el rango de pH óptimo varía con la temperatura, y decrece al disminuir esta (Barrenechea, 2004).

### *Dosis del coagulante*

La cantidad y tipo de coagulante juegan un papel muy importante en la eficacia de la coagulación. La aplicación de una cantidad baja de coagulante no neutraliza todas las partículas presentes en el agua, mientras que cantidades elevadas provocan la inversión de cargas de las partículas, en ambos casos la remoción de turbiedad es baja (Martínez, 2015). Por tanto, es necesario calcular la dosis óptima mediante la prueba de jarras con el fin de alcanzar buenos resultados (Andía, 2000)

### *Mezcla*

El grado de agitación determinará que toda la masa de agua tenga una mezcla completa, porque, si se presente turbulencias la proporción del coagulante será desigual, es recomendable por ello que en la primera etapa mezcla rápida, la agitación sea de mayor fuerza y dure menos. La segunda etapa es la mezcla lenta, que tiene el objetivo desarrollar los microfloculos (Barrenechea, 2004).

### *Tiempo de floculación*

Vargas, (2004) señala que el tiempo de retención puede variar de 10 a 30 minutos dependiendo de la calidad y temperatura de la fuente de agua. En la tabla 1 se presenta las condiciones de temperatura.

*Tabla 1. Condiciones de temperatura según la zona de estudio*

Zona de estudios	Tiempo de retención
Zona tropical (20 °C)	15-20 min
Zona fría (10-15 °C)	Mayor a 20 min

*Fuente 2. (Barrenechea, 2004)*

## Coagulantes naturales

Son una fuente alternativa con gran potencial que aún no han sido estudiados por completo (Guzmán et al., 2013) , tienen propiedades coagulantes o que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, debido a ello, son usados en varios lugares para clarificar el agua turbia (Yin, 2010). Además se caracterizan por ser biodegradables, por ende, son seguros para la calidad de vida humana (Chama, 2017).

Tabla 2. Lista de coagulantes naturales empleados en la remoción de turbiedad de agua

Nombre común	Se extrae de	Parte de donde se obtiene
Tuna	Opuntia ficus indica	Las hojas
Almidones	Maíz	El grano o tubérculo
	Papa	
	Yuca	
	Trigo	
	Plátano	
Semillas de nirmali	Strychnos Potatorun	Las semillas
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo Schinopsis Lorentzii	Corteza del árbol
Gelatina común	Animales	Residuos de animales,
Alginato de sodio	Algas pardas marinas (Phaeophyceae)	huesos
		Toda la planta
Carboximetil celulosa	Árboles	Corteza del árbol
Goma de guar	Cyanopsis Psoralioides	Semillas

Fuente 3. (Ojeda, 2012)

## Almidón

El almidón es la mayor fuente de hidratos de carbono en la dieta del ser humano y el polisacárido de almacenamiento más abundante en las plantas. Se encuentra naturalmente en forma de gránulos en los cloroplastos de hojas verdes y amiloplastos de semillas, legumbres y tubérculos (Vera, & Torres, 2018). Químicamente el almidón nativo está formado por dos componentes distintos, amilosa y amilopectina (Kulkarni, Singhal, & Sajilata, 2006). Ambos están constituidos de cadenas de D-glucosa unidos mediante enlaces  $\alpha$  (1-4). La amilosa es esencialmente lineal, mientras que la amilopectina está altamente ramificada mediante enlaces  $\alpha$  (1-6) (Molano & Iannacone, 2018).

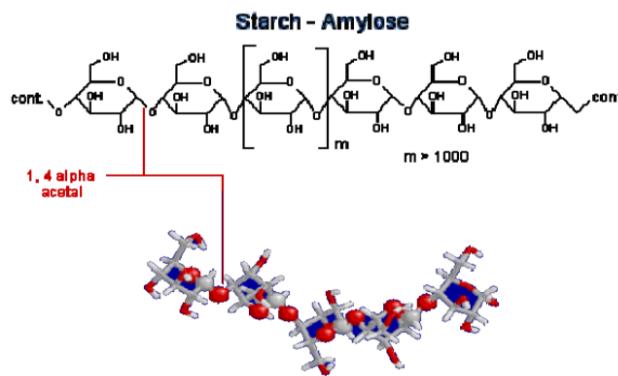


Figura 2. Estructura química de la amilosa

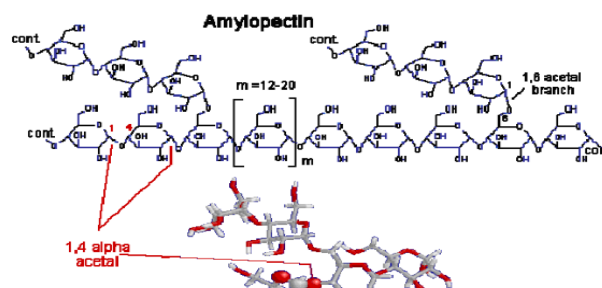


Figura 3. Estructura química de la amilopectina

Guadrón, (2013) explica que los almidones se clasifican en dos tipos:

#### *Almidón modificado*

Se refiere a aquellos almidones degradados intencionalmente por la acción de agentes oxidantes, ácidos o enzimas (Reyes & Guevara, 2018); esto se realiza para mejorar sus propiedades y evitar procesamiento o el uso de otros componentes en la industria (Ramos, Romero, & Bautista, 2018).

#### *Almidón nativo (natural)*

Son almidones extraídos por medio natural, se almacenan en raíces, tubérculos, semillas, lugares donde la planta almacena energía (Pinto, 2012); tienen como característica fundamental que sus propiedades fisicoquímicas y funcionales estarán influenciadas por sus estructuras granular y molecular (Hernández et al., 2008)

(Culebro, 2015) indica que el almidón tiene fuertes propiedades coagulantes, pues constituye la mayor reserva de carbohidratos de las plantas, no consume altas cantidades de alcalinidad del medio y no sufre hidrólisis en la solución.

### **Métodos para la obtención de almidón**

Según (Guadrón, 2013) existen diferentes métodos de extracción de almidón, sea proveniente de maíz, trigo, yuca, papa o plátano. Los principales y más generales son:

#### *El método seco*

Básicamente este método consiste en la molienda de los frutos que son secados (Guadrón, 2013), con la cual se obtiene la harina, luego estos pasan a ser tamizados, y así obtener el almidón (Alzate, & Marín, 2008).

#### *El método húmedo*

La obtención de almidón mediante este método comprende del lavado con agua del producto, desinfección con hipoclorito de sodio (1%), troceado, inmersión en antioxidante durante tiempos que variaron entre 5, 15, 30 y 60 minutos, trituración hasta obtener una pasta o lechada, lavado y tamizado, decantación del líquido de lavado, eliminación de sobrenadante (por decantación y posterior filtrado en vacío), lavado y tamizado, secado (40°C, 10 horas), y tamizado final (Lambis et al., 2015).

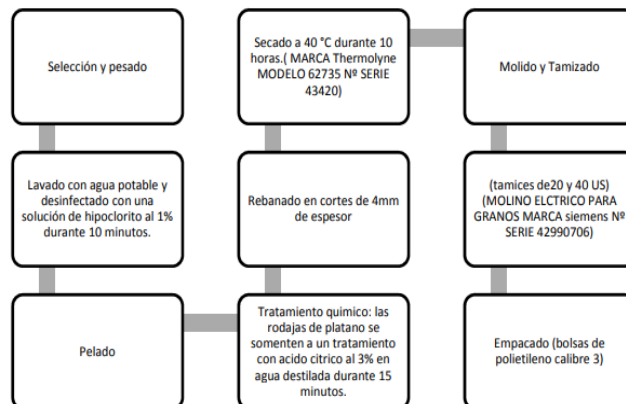


Figura 4. Diagrama de flujo de la obtención de almidón

Fuente 4. (Mantilla, 2013)

Tanto los almidones y otros coagulantes naturales presentan ventajas y algunas limitaciones en su uso los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Ventajas y limitaciones del uso de almidón y otros coagulantes naturales

<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Los coagulantes a base de plantas son seguros ecológicos y libre de tóxicos, ya que son biodegradables no presentan riesgos para la salud de las personas.</li><li>• Menor requerimiento de polímero inorgánicos en la dosificación.</li><li>• La generación de lodos, puede tener hasta 5 veces menos volumen.</li><li>• Su adquisición y tratamiento resulta más económico.</li><li>• No son corrosivos por lo tanto no causa erosiones de la tubería.</li><li>• Mejora la velocidad de sedimentación del flóculo.</li><li>• Remueve con gran eficiencia turbidez y color de agua, en ocasiones microorganismos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dependencia de las características fisicoquímicas del agua.</li><li>• Variación de pruebas para obtener dosis óptima.</li></ul>

Fuente 5. (Choy et al., 2014)

### **Capacidad de remoción de turbidez de agua del almidón de papa y plátano**

#### *Papa*

La papa es uno de los tubérculos más consumidos en sus diversas formas, derivados y presentaciones, cuyo origen radica en los andes peruanos (Yaipén, 2013), el almidón en la papa constituye su principal fuente de almacenamiento de energía (Vargas et al., 2016), su contenido varía de acuerdo al cultivo y la etapa de crecimiento de la planta, este oscila entre 66 a 80% en peso seco (Liu et al., 2007).

A continuación, se presenta una tabla comparativa de los diferentes estudios de remoción de turbiedad de agua aplicando almidón de papa.

Tabla 4. Tabla de comparación de estudios de remoción de turbidez utilizando almidón de variedades de papa

Autores	Tipo de almidón	Parámetros operacionales			Valores iniciales			Valores Obtenidos			
		Tiempo de flocculación	Tiempo de sedimentación	Velocidad de flocculación	T°	pH	Turbidez	pH	Concentración óptima	Dosis óptima	Turbidez
(Chama, 2017)	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	20 min	40 min	40 RPM	26 °C	7.4	16.1 NTU	-	-	133 mg/L	6.3 NTU
(Chalco, 2016)	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	15 min	-	40 RPM	21.5 °C	5.97	70 NTU	6.1	1%	12 mg/L	4.63 NTU
(Molano & Iannacone, 2018)	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) variedad única	20 min	15 min	40 RPM	-	6.82	536 NTU	-	0.3 %	450 mg/L	139 NTU
(Herrera, 2015)	Almidón oxidado de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	20 min	20 min	30 RPM	35 °C	7.34	355 NTU	7.05	0.5 %	60 mg/L	19.2 NTU
(Herrera, 2015)	Almidón acetilado de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	20 min	20 min	30 RPM	35 °C	7.34	355 NTU	7.56	0.50%	50 mg/L	19.6 NTU
(Herrera, 2015)	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	20 min	20 min	30 RPM	35 °C	7.34	355 NTU	7.56	0.50%	50 mg/L	20.4 NTU
(Camacho et al., 2020)	cáscara de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	20 min	15 min	30 RPM	-	7.54	59.6 NTU	-	1%	10 mg/L	11.13 NTU
(Carrasquero et al., 2017)	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	20 min	30 min	40 RPM	-	6.93	75 NTU	7.15	-	50 mg/L	8 NTU
(Dávila et al., 2019)	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	-	-	-	-	-	36.6 NTU	8	4%	37 mg/L	2.69 NTU

(Hurtado & Navarro, 2017)	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	25 min	30 min	300 RPM	12 °C	7.5	30 NTU	7.82	-	80 mg/L	4.1 NTU
(Vásquez & Zapata, 2019)	Papa amarilla	25 min	30 min	25 RPM	-	7.72	86.8 NTU	-	-	30 mg/L	14.3 NTU
(Ttito, 2018)	Papa <i>imilla negra</i> como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio	20 min	20 min	40 RPM	15 °C	7.34	40 NTU	7.61	1%	15 mg/L	1.72 NTU
(Ttito, 2018)	Papa <i>ccopis</i> como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio	20 min	20 min	40 RPM	15 °C	7.36	40 NTU	7.3	1%	10 mg/L	1.95 NTU
(Ttito, 2018)	Papa <i>sani imilla</i> como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio	20 min	20 min	40 RPM	15 °C	7.2	40 NTU	7.09	1%	10 mg/L	2.23 NTU
(Romero, 2019)	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) variedad única	15 min	30 min	40 RPM	-	8.11	246.5	-	10%	2 mg/L	51.4 NTU

Fuente 6 Elaboración propia

En la tabla 4, se tiene una recopilación de (12) estudios obtenidos de revistas indexadas y tesis publicadas en repositorios universitarios, que aplicaron almidón de papa para remover turbidez del agua, donde todos utilizaron la metodología de test de jarras para obtener la dosis y concentración óptima, se observan valores de parámetros operacionales como tiempo y velocidad de floculación, además de valores de parámetros fisicoquímicos del agua a tratar (valores iniciales) y agua tratada (valores obtenidos).

### Plátano

El plátano es una planta herbácea que puede alcanzar una altura aproximadamente de 3.5 a 7.5 metros, proviene de Asia, pero hoy en día su cultivo se ha extendido por muchas regiones del planeta, tales como América central, América del sur, y África (Romero, 2018). Este producto se viene empleando en el tratamiento de aguas, ya que son ricos en almidón pueden llegar a tener entre 70 y 80% en base seca (Mantilla, 2013).

A continuación, se presenta una comparación de los diferentes estudios de remoción de turbiedad de agua aplicando almidón de plátano.

Tabla 5. Tabla de comparación de estudios de remoción de turbidez utilizando almidón de variedades de plátano

Autores	Tipo de almidón	Parámetros operacionales			Valores iniciales			Valores Obtenidos			
		Tiempo de floculación	Tiempo de sedimentación	Velocidad de floculación	T°	pH	Turbidez	pH	Concentración óptima	Dosis óptima	Turbidez
(Carrasquero et al., 2017)	Plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> )	20 min	30 min	40 RPM	-	6.93	75 NTU	7.29	-	25 mg/L	10.9 NTU
(Chavez et al., 2019)	Plátano ( <i>Musa acuminata</i> aaa) como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio	25 min	30 min	25 RPM	19.3 °C	8.6	75 NTU	7.74	1%	25 ppm	1.95 NTU
(Sierra et al., 2019)	Médula de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> )	20 min	15 min	30 RPM	27 °C	7.2	174 NTU	6.49	1%	40 mg/L	68.1 NTU
(Vásquez & Zapata, 2019)	Plátano verde ( <i>Musa paradisiaca</i> )	25 min	30 min	25 RPM	-	7.72	86.8 NTU	-	-	30 mg/L	15.8 NTU
(Reyes & Guevara, 2018)	Almidón modificado de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> )	15 min	10 min	63 RPM	-	7.78	37.3 6 NTU	7.34	1%	2 ml	12.4 2 NTU
(Romero, 2019)	Plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> )	15 min	30 min	40 RPM	-	8.11	246. 5 NTU	-	10%	2ml	47.8 8 NTU
(Aguilar & Másmela, 2017)	Plátano ( <i>Musa aab simmonds</i> )	20 min	15 min	40 RPM	-	6.98	132 NTU	11.29	0.025 %	18.5 mg/L	52 NTU
(Trujillo et al., 2014)	Plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio	20 min	20 min	50 RPM	-	7.8	360 NTU	5	1%	-	3.9 NTU

Fuente 7 Elaboración propia

En la tabla 5, se observa (8) estudios de revistas indexadas y tesis publicadas en repositorios universitarios donde aplicaron almidón de algunas variedades de plátano en la remoción de turbidez de agua, los datos recopilados corresponden a parámetros de operación (tiempo, velocidad) y parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, turbidez) que fueron necesarios en la prueba de jarras con el fin de obtener la dosis y concentración óptima.

En los parámetros operacionales de la tabla 4 y tabla 5, se observa que tiempo de floculación utilizado por los autores oscilan entre 15 y 25 minutos, siendo 20 minutos el más utilizado. Según (Tito, 2018) un tiempo de floculación semejante 20 minutos es prudencial y recomendado por el CEPIS.

Asimismo, en la tabla 4 y 5 se observa al tiempo de sedimentación, que este varía entre 10 y 40 minutos. Según (Reyes & Guevara, 2018) explica que el tiempo muy corto en que las partículas coloidales después de estar estabilizadas (flocs formados) lleguen a tener un tamaño que se acerca a la microescala de Kolmogoroff h. Pero, (Hurtado & Navarro, 2017) que determino el tiempo óptimo de sedimentación menciona que a mayor tiempo de contacto se incrementa la remoción de turbidez.

Para (Romero, 2019) la floculación se favorece por la mezcla lenta, ya que permite la conformación de flóculos, en el caso de aplicar un mezclado rápido este podría romper los flóculos, dificultando la formación de tamaño y fuerza óptima de estos. Por lo cual, en la mayoría de los estudios presentados en la tabla 4 y 5 se observa velocidades cercanas a 40 RPM

En el compendio de estudios presentados en la tabla 4, se puede ver que el uso de almidón de papa influye a la alcalinización del pH en pequeñas cantidades. Según el estudio del autor (Chalco, 2016) donde utilizo sulfato de aluminio y almidón de papa como coadyuvantes en la remoción de turbidez concluye que el rango de pH donde se ha alcanzado las mayores eficiencias de remoción de turbidez está comprendido entre 6,10 a 7,22. Para (Dávila et al., 2019) a un pH de 8 los flocs empezaron a formarse por ende a sedimentar después de la prueba, obteniendo la turbiedad más baja en el tratamiento.

En el caso del almidón de plátano (tabla 5), con la aplicación de este coagulante los valores de pH en su mayoría se acidifican. (Trujillo et al., 2014) menciona que la remoción de turbidez utilizando almidón plátano es óptima para pH en el rango 3-6, porque al tomarse valores de pH cercanos a 3 la clarificación del agua era mayor.

Diversos estudios han demostrado que la concentración del coagulante influye en la eficiencia de mezcla rápida, lo que modifica los resultados del proceso de coagulación (Tito, 2018). Según CEPIS la concentración recomendada de los coagulantes a emplear en la remoción de turbidez es del 1%.

Los estudios revisados en la tabla 4 y 5, muestran una alta remoción de turbidez al emplear dosis cercanas a 50 mg/L de almidón de papa o almidón de plátano, siendo los valores finales de turbidez cercanas a 10 NTU. Sin embargo, ningún estudio que utilizo estos almidones ha llegado a obtener valores menores a 5 NTU, que es valor máximo permisible de turbiedad fundamentado en el DS-031-2010-MINSA. Pero, (Sierra et al., 2019) en su estudio menciona que mediante el test de jarras solo se realizó la simulación de los procesos de clarificación del agua (coagulación, floculación y sedimentación), es decir, no se llevaron a cabo etapas posteriores para la potabilización del agua, como filtración y cloración.

En términos de eficiencia de remoción de turbidez, comparando los dos tipos de almidones (papa y plátano) analizados en esta revisión (ver tabla 4 y 5) podemos decir que el almidón de papa es más eficiente.

### **Metodología de superficie de respuesta (RSM)**

La Metodología de superficie de respuesta (RSM) es un conjunto de técnicas matemáticas utilizadas en el tratamiento de problemas en los que una respuesta de interés está influida por varios factores de carácter cuantitativo. El propósito de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable respuesta y seguidamente determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos que se tiene, estableciendo así los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta (Lemma & Rodriguez, 2012). La RSM pretende localizar las condiciones óptimas de operación del proceso, de tal manera que RSM plantea un reto mucho más fuerte para el investigador y requiere de una estrategia más completa, que incluye la posibilidad de efectuar varios experimentos secuenciales y el uso de técnicas matemáticas más avanzadas (Cuesta,

2010).

(Wu et al., 2015) explica que la metodología de superficie de respuesta, ayuda a identificar los factores que afectan más a la variable respuesta para optimizar así los recursos, además permite focalizar una serie de experimentos diseñados en esta metodología generando ahorro de esfuerzos y tiempo, así como gasto en insumos y componentes químicos.

La relación  $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  entre la variable respuesta ( $Y$ ) y los niveles de los ( $k$ ) factores  $x_1, x_2, \dots, x_k$  representa una superficie. Entonces, una gráfica superficie de respuesta tridimensional se expresa con la siguiente ecuación (Lemma & Rodriguez, 2012):

$$Y = \int (X_1, X_2)$$

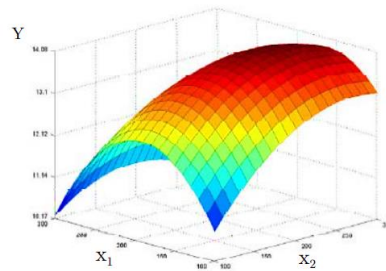


Figura 5 Modelo de Superficie de respuesta tridimensional

En la actualidad, existen diversos estudios de orientados a la remoción de turbidez de agua donde aplicaron la metodología de superficie de respuesta para la optimización de sus variables, en la tabla 6 se muestra una recopilación de (2) artículos de revistas indexadas, así como, (3) tesis publicadas en los repositorios universitarios y en CONCYTEC.

Tabla 6 Tabla de comparación de estudios de remoción de turbidez que aplicaron la metodología de superficie de respuesta (RSM)

Autores	Tipo de Coagulante	Condiciones Operacionales Óptimas			Diseño de la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM)		
		Turbidez inicial	Dosis almidón de papa	Dosis sulfato de aluminio	Turbidez final	Gráfica del contorno de la superficie de respuesta (RSM)	Gráfica de la superficie (3D) de respuesta (RSM)
(Chalco, 2016)	Almidón de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	700 NTU	7.5 mg/L	100 mg/L a 120 mg/L; 140 mg/L a 150 mg/L	0 a 2.4 NTU		
(Huamán & Jaimes, 2019)	Almidón de pituca ( <i>Colocasia esculenta</i> )	5	75% a 80%	20 mg/L	3.5 NTU		

	Tiempo de sedimentación	Turbidez inicial	Dosis de semilla de	Eficiencia de remoción	Gráfica cúbica de la superficie de respuesta (RSM)
(Feria et al., 2014)	30 min	>90 NTU	4 mg/L a 17 mg/L	>90%	

	Velocidad de floculación (mezcla lenta)	Concentración de organocilla a	Turbidez final	Gráfica del contorno de la superficie de respuesta (RSM)	Gráfica de la superficie (3D) de respuesta (RSM)
(Chacon & Ramos, 2019)	49 RPM	1.5 g/100mL	<2 NTU		

	Dosis del coagulante	pH	Porcentaje de remoción	Gráfica del contorno de la superficie de respuesta (RSM)	Gráfica de la superficie (3D) de respuesta (RSM)
(Trinh & Kang, 2011)	0.16 nM	6.8	86%		

	Dosis del coagulante	pH	Porcentaje de remoción	Gráfica del contorno de la superficie de respuesta (RSM)	Gráfica de la superficie (3D) de respuesta (RSM)
(Trinh & Kang, 2011)	0.11 nM	8.5	94%		

Según (Chalco, 2016), las gráficas de contorno de la superficie de respuesta que presentan regiones de colores ayudan a determinar los rangos de valores óptimos de los factores operacionales. En su estudio, se observa que a medida que la turbidez inicial aumenta, se obtiene una mayor remoción de turbidez. Además, analizando la relación entre la dosis del coagulante y la turbidez final, muestra la gráfica de superficie de respuesta (3D) como una parábola, evidenciando que a la mayor remoción de turbidez se alcanza cuando se aplican dosis mínimas y máximas del coagulante. Sin embargo, debido al comportamiento de sus resultados, los valores óptimos de factores de respuesta son representados en rangos de valores, mas no obtuvieron valores picos específicos.

En la gráfica de superficie de respuesta del estudio desarrollado por (Huamán & Jaimes, 2019), se observa la influencia de las variables independientes (pH y dosis de almidón de pituca), la cual indica que a un pH de 5 y dosis entre 75 – 80% de almidón se obtiene una remoción del 90% de turbiedad.

Al generar el modelo cúbico de superficie de respuesta para evaluar la eficiencia de remoción de turbidez por (Feria et al., 2014), se observa que el mayor porcentaje de remoción de turbidez (>90 %) se lograron con dosis entre 4,5 mg/L y 17,5 mg/L del coagulante (Semilla de *Moringa Oleífera*) para turbiedades iniciales superiores a 90,0 UNT.

De acuerdo a la relación entre la velocidad de floculación (mezcla lenta) y concentración del coagulante (organoarcilla), se obtuvo la superficie de respuesta de remoción de turbidez, donde la región verde oscuro de la gráfica muestra el punto exacto de optimización, es decir, en dicha región se obtuvo mayor remoción de turbidez (Chacon & Ramos, 2019).

Las gráficas de superficie de respuesta elaboradas por (Trinh & Kang, 2011) en la búsqueda de condiciones óptimas en el proceso de remoción de turbidez, muestran rangos óptimos pH y dosificación de sal metálica de alumbre y sal metálica de alumbre prehidrolizada donde removieron el 94% y 86% de turbidez respectivamente.

Los rangos óptimos de los factores aplicados en el proceso de coagulación-floculación juegan un papel importante en la clarificación del agua, el uso de estos en futuras investigaciones, contrae beneficios operativos como la reducción de número de experimentos y ahorro económico.

## Conclusiones

A través de un análisis de los estudios presentados en esta revisión, se evidencia que la remoción de turbidez de agua depende de la dosis y concentración del coagulante, así como, de los parámetros fisicoquímicos (pH, Temperatura, etc.), al modificar su estructura química de los coagulantes naturales (almidones de papa y plátano) se pueden obtener mejores resultados en la clarificación del agua, además de ello, los coagulantes naturales suelen ser compatibles con los coagulantes químicos, los cuales al utilizarlos como coadyuvantes alcanzan una alta eficiencia en la remoción de turbidez.

Teniendo en cuenta las condiciones operativas de cada artículo revisado, el almidón de papa presentó mejores resultados en la eficiencia de remoción de turbidez que el almidón de plátano. En los estudios revisados que emplearon el plátano para remover la turbidez del agua, presentaron valores de turbidez final superiores al D.S. 031-2010 MINSA, mientras que, en (4) estudios que utilizaron almidón de papa, se encontraron valores de turbidez final inferiores a los límites máximos permisible de agua para consumo humano.

Los estudios revisados demostraron que aplicación de la metodología de superficie de respuesta permitió optimizar los parámetros utilizados en el proceso de coagulación-floculación, obteniéndose rangos óptimos que generaron beneficios operativos en la remoción de turbidez.

## Referencias

- Aguilar, N., & Másmela, A. (2017). *Evaluación de almidón de Manihot Esculenta (yuca) y Musa AAB Simmonds. (plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en la PTARD del parque agroindustrial de occidente – PAO* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 131, Retrieved from <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/12023>
- Andía, Y. (2000). De agua: Coagulación y floculación. Retrieved from <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- Arboleda, J. (1992). Teoría de la Coagulación del Agua. 793. Retrieved from <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/teoria.pdf>
- Barrenechea, A. (2004). Coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano.153–224, Retrieved from [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9871/RodriguezGarcia\\_L - SalvadorAmaya\\_I.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9871/RodriguezGarcia_L - SalvadorAmaya_I.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Camacho, H., Campos, D., Mercado, I., & Cubillán, N. (2020). Use of potato peels ( *Solanum tuberosum* L ) in the clarification of the water of the Ciénaga de Malambo. *Revista Investigación e Innovación En Ingenierías*, 8(1), 100–111. <https://doi.org/https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>
- Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, D., Parra, P., Marín, J., & Montiel, A. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa ( *Solanum tuberosum* ) y plátano ( *Musa paradisiaca* ) en la clarificación de aguas. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. 13(2), 90–99. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5831335>
- CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida*. Retrieved from <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/tomoII/nueve.pdf>
- Chacon Ramos, I. M., & Ramos Zavala, C. T. (2019). *Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 Y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla* (tesis de pregrado). Universidad Peruana Union, Retrieved from <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2144>
- Chama, J. (2017). *Evaluación del poder coagulante del almidón de papa (Solanum tuberosum) var. única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016* (tesis de pregrado). Universidad José Carlos Mariátegui, Retrieved from [http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/202/Jenni\\_Tesis\\_titulo\\_2017.pdf?sequence=1](http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/202/Jenni_Tesis_titulo_2017.pdf?sequence=1)
- Chavez, J., Cunaique, I., & Pinco, J. (2019). *Proceso de obtención y evaluación de la eficiencia del almidón del plátano de seda (Musa Acuminata AAA) para la coagulación – floculación de las aguas superficiales del río Puchca – Ancash a nivel de laboratorio* (repositorio de pregrado). Universidad Nacional del Callao, Retrieved from <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3877>
- Choy, S., Prasad, K., Wu, T., Raghunandan, M., & Ramanan, R. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 26(11), 2178–2189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>
- Cuesta, A. (2010). Metodología de Superficies de Respuesta, gran alternativa para incrementar la productividad de sus procesos. *Centro de la calidad de ingeniería*, (572), 23. Retrieved from <http://www.cicalidad.com/articulos/RSM.pdf>
- Cueva, J. (2014). *Diseño de experimentos en la remoción de metales pesados en aguas residuales de la industria minera por procesos de coagulación con sulfato ferroso* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería.
- Culebro, J. (2015). *Cosechado de microalgas cultivadas en lagunas de alta carga para el tratamiento de aguas residuales: efecto del almidón sobre la floculación y la producción de biogás* (tesis de master). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Retrieved from [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76418/Tesis Microalgas .pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76418/Tesis%20Microalgas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Dávila, C., Huamán, M., Flores, J., Polo, R., & Araujo, N. (2019). Efectividad de especies naturales como ayudantes de Coagulación, para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas. *Revista Aporte Santiaguino*, 11(2), 299. <https://doi.org/10.32911/as.2018.v11.n2.583>
- Feria, J., Bermúdez, S., & Tordecilla, M. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Revista Producción + Limpia*, 9(1), 9–22. Retrieved from <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/648>
- Ferrer, S., Montiel, S., Faría, D., Parra, M., Marín, J., & Díaz, R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90–99. Retrieved from <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1941/2454>

- Flores, M. (2016). *Determinacion de la eficiencia del almidón de papa (solanum tuberosum) como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del Río Caplina* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, <https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>
- Gómez, C., Villarroel, P., Vera, C., & Torres, J. (2018). *Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos*. 45(3), 271–278. Retrieved from [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182018000400271#B1](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182018000400271#B1)
- Guadrón, E. (2013). *Diseño y Desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (Musa sp.variedad cuadrado), para su uso en la industria de alimentos* (tesis de pregrado). Universidad de el Salvador. Retrieved from [http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3\\_6.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3_6.pdf)
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>
- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Revista de Ciencia e Tecnología de Alimentos*, 28(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000300031>
- Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domesticas. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2), 123. <https://doi.org/10.24054/16927125.v2.n2.2015.1877>
- Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista @Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, (2), 123–135. Retrieved from [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1877](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1877)
- Huamán, C., & Jaimes, H. (2019). *Metodología de superficie de respuesta en la eficiencia de remoción de turbidez de agua empleando almidón de pituca (colocassia esculenta) como auxiliar de coagulación* (tesis de pregrado). Universidad Peruana Union, Retrieved from [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2079/Claudia\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2079/Claudia_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hurtado, J., & Navarro, E. (2017). *Determinación de la capacidad clarificadora del coagulante natural extraído de la papa (Solanum Tuberosum) en la purificación del agua del río patari para uso de consumo humano* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Del Callao, Retrieved from <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3822>
- Kulkarni, P., Singhal, R., & Sajilata, M. (2006). Resistant starch-a review. *Revista Food Science and Food Safety*, 5(Figure 2), 18. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x>
- Lambis, H., Hernández, F., Morales, Y., Marín, L., & Pasqualino, J. (2015). Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano (Musa paradisiaca). Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/303541333\\_Extraccion\\_de\\_almidon\\_a\\_partir\\_de\\_residuos\\_de\\_piel\\_de\\_platano\\_Musa\\_paradisiaca](https://www.researchgate.net/publication/303541333_Extraccion_de_almidon_a_partir_de_residuos_de_piel_de_platano_Musa_paradisiaca)
- Lemma, A., & Rodriguez, M. (2012). *Diseño experimental y optimización de procesos*. Brasil: Segunda ed; Casa do Espirito Amigo Fraternidade Fé e Amor, Ed.
- Lidia, V. (2004). Floculación en el tratamiento de agua para consumo humano, 292–293. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/MANUALI/TOMOI/seis.pdf>
- Liu, Q., Tarn, R., Lynch, D., & Skjodt, N. (2007). Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Revista Food Chemistry*, 105(3), 897–907. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.034>
- Mantilla, C. (2013). *Extracción y modificación de almidón de plátano cuatro filos (Musa ABB del subgrupo Silver blueggoe) para posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas* (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Retrieved from <http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/294/informe%20final%20listo%20PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, M. (2015). *Uso de Polímeros en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Retrieved from [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8924/uso de polímeros en el tratamiento de agua para consumo huamano.pdf?sequence=1](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8924/uso%20de%20polimeros%20en%20el%20tratamiento%20de%20agua%20para%20consumo%20humano.pdf?sequence=1)
- Mazzeo, M., Alzate, A., & Marín, M. (2008). Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominicio Hartón (Musa AAB simmonds). *Revista Vector*, 3, 57–69. Retrieved from [http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3\\_6.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3_6.pdf)
- Molano, J., & Iannacone, J. (2018). Tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación-

- floculación utilizando almidón de *Solanum Tuberosum* L. “papa” como alternativa al manejo convencional. *Revista Biotempo*, 15(1), 83–112. Retrieved from <http://v-beta.urp.edu.pe/pdf/id/17716/n/pdf>
- Muñoz, C. (2019). Floculación. *Revista Induambiente*. Retrieved from [https://issuu.com/induambiente1/docs/0-induambiente\\_ed\\_161-final](https://issuu.com/induambiente1/docs/0-induambiente_ed_161-final)
- Ojeda, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del Tropaeolum Tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de puengasí de la epmaps* (tesis pregrado). Universidad politécnica Salesiana, Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- ONU. (2019). Agua. Retrieved from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- Pinto, H. (2012). Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*dioscorea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/9785/1/107519.2012.pdf>
- Ramos, M., Romero, C., & Bautista, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19, 30–44. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612003>
- Reyes, B., & Guevara, J. (2018). *Obtención de almidón de plátano (Musa paradisiaca spp) modificado para el proceso de coagulación- floculación Moyobamba, 2017* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín Tarapoto. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.76.032109>
- Romero, T. (2018). *Evaluación de la capacidad antibacteriana de los taninos extraídos del banano verde (Musa sp.), rechazo de las bananeras, frente a la bacteria Staphylococcus aureus ATCC: 12600* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16597/1/UPS-CT008051.pdf>
- Romero, L. (2019). *Evaluación de la utilización del almidón de papa, yuca y banano como biocoagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea* (tesis de pregrado). Universidad de Las Américas, Retrieved from <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11565>
- Sierra, A., Navarro, A., Mercado, I., Flórez, A., & Urado, M. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 131–138. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019012>
- Trinh, T., & Kang, L. (2011). Response surface methodological approach to optimize the coagulation-flocculation process in drinking water treatment. *Revista Chemical Engineering Research and Design*, 89(7), 1126–1135. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.12.004>
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista Ion*, 27(1), 17–34. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-100X2014000100003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003)
- Ttito, R. (2018). *Evaluación de la eficacia del almidón de tres variedades de papa (Solanum tuberosum) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano en condiciones altoandinas, 2018* (tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Retrieved from <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1714>
- UNICEF. (2016). Agua saneamiento e higiene. Retrieved from [https://www.unicef.org/spanish/wash/3942\\_4456.html](https://www.unicef.org/spanish/wash/3942_4456.html)
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmore, C. (2016). Functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) starch and its chemical modification by acetylation. *Revista Scientia Agropecuaria*, 7(3), 223–230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Vargas, M., & Romero, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 19(4), 37–41. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835825>
- Vásquez, B., & Zapata, T. (2019). *Influencia del tipo y dosificación de almidones naturales obtenidos de yuca blanca, plátano verde y papa amarilla, sobre el grado de turbidez en agua de riego de la empresa Agualima, mediante el proceso de coagulación - Floculación* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Retrieved from <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12681>
- Vázquez, T., & Montoya, H. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Revista Conciencia Tecnológica*, (25). Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/944/94402508.pdf>
- Wu, Y., Ding, W., Jia, L., & He, Q. (2015). The theological properties of tara gum (*Caesalpinia spinosa*). *Revista Food Chemistry*, 168, 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.083>
- Yaipén, R. (2013, May 11). Día internacional de la papa. Retrieved from Agraria noticias website:

<https://agraria.pe/noticias/peru-tiene-la-coleccion-mas-grande-de-variedades-de-papa-del-1569>  
Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Revista Process Biochemistry*, 45(9), 1437–1444. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>