

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



*Una Institución Adventista*

Eficacia de la harina de haba (*Vicia faba*) como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano

Por:

Soledad Vilma Tunco Cabana

Asesor:

MSc. Rose Adeline Callata Chura

Juliaca, diciembre de 2019

DECLARACIÓN JURADA  
DE AUTORIA DEL TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN

MSc. Rose Adeline Callata Chura, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "EFICACIA DE LA HARINA DE HABA (*Vicia faba*) COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO" constituye la memoria que presenta la estudiante Soledad Vilma Tunco Cabana 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 trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los dos días del mes de diciembre del año dos mil diecinueve.



MSc. Rose Adeline Callata Chura

Eficacia de la harina de haba (*Vicia faba*) como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano

## Trabajo de investigación

Presentada para optar el grado de bachiller en Ingeniería Ambiental

### JURADO CALIFICADOR



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera  
Presidente



MSc. Jael Calla Calla  
Secretario



Ing. Miguel Ángel Salcedo Enríquez  
Vocal



MSc. Rose Adeline Callata Chura  
Asesor

Juliaca, 02 de diciembre de 2019

# Eficacia de la harina de haba (*Vicia faba*) como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano

Tunco Cabana Soledad Vilma <sup>1</sup>, Callata Chura Rose Adeline <sup>2</sup>

<sup>a</sup>EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

---

## Resumen

La coagulación es el proceso más importante en el tratamiento de agua, que incluye la remoción de especies en suspensión, mediante la adición de coagulantes químicos. El estudio del uso de la harina de haba, como ayudante del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano, fue realizado con el objetivo de dar a conocer una alternativa en el tema de los coagulantes naturales frente a los coagulantes químicos y obtener una remoción de turbiedad considerable. Se desarrollaron pruebas de jarras, mediante la coagulación, floculación y la sedimentación. Se utilizó la harina de haba como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio, se realizaron pruebas con las mismas muestras de agua para todos los tratamientos, utilizando el sulfato de aluminio como coagulante primario, todo esto con la finalidad de poder comparar el rendimiento de la harina de haba frente al  $Al_2(SO_4)_3$ . Las pruebas se analizaron, obteniendo como turbiedad inicial de 114 UNT y un pH de 7.06. Los resultados obtenidos muestran que la harina de haba como coagulante primario y como ayudante de coagulación resultó ser eficaz, es decir se logra el objetivo de remover turbiedad, se determinó la dosis y concentración óptima que fueron de 25 mg/L, a 1 %, la turbiedad final promedio fue de 0.75 UNT. En conclusión, la harina de haba (*Vicia faba*) como coagulante puede generar menos gastos que aplicando coagulantes químicos, además se puede evitar enfermedades que se generan a partir del uso del Sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas.

**Palabras clave:** coagulación, floculación, sedimentación, sulfato de aluminio, harina de haba, turbidez, agua.

## Abstract

Coagulation is the most important process in water treatment, which includes the removal of suspended species, by the addition of chemical coagulants. The study of the use of bean flour, as an assistant to aluminum sulfate in the treatment of water for human consumption, was carried out with the aim of publicizing an alternative in the field of natural coagulants versus chemical coagulants and obtaining a considerable turbidity removal. Jug tests were developed, through coagulation, flocculation and sedimentation. Bean flour was used as an aid for coagulation of aluminum sulfate, tests were carried out with the same water samples for all treatments, using aluminum sulfate as a primary coagulant, all this in order to compare the flour yield Bean versus  $Al_2(SO_4)_3$ . The tests were analyzed, obtaining as initial turbidity of 114 UNT and a pH of 7.06. The results obtained show that the bean flour as a primary coagulant and as a coagulation assistant proved to be effective, that is, the objective of removing turbidity was achieved, the optimal dose and concentration was determined to be 25 mg / L, at 1%, the average final turbidity was 0.75 UNT. In conclusion, bean flour (*Vicia faba*) as a coagulant can generate less expenses than applying chemical coagulants, in addition to diseases that are generated from the use of aluminum sulfate in water treatment.

**Keywords:** coagulation, flocculation, sedimentation, aluminum sulfate, bean flour, turbidity, water.

---

\*Soledad Vilma Tunco Cabana – Rose Adeline Callata Chura  
Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquiani, Autopista Héroes de la Guerra del Pacifico, San Román Puno.  
Tel.: 966431709 - 927704837  
E-mail: tunco.soledad@gmail.com, Rose.callata@upeu.edu.pe

# 1. Introducción

El agua es el elemento más importante para la vida. Es de una importancia vital para el ser humano, así como para el resto de los animales y demás seres vivos. El agua no solo es significativa como recurso vital sino también como recurso económico e industrial, pues se usa en innumerables actividades industriales y casi siempre resulta contaminada. Por esa razón, las plantas de tratamiento hacen lo posible para lograr que el agua sea bebible, pero muchas veces los fuertes químicos que usan para su previo tratamiento pueden causar daños en la salud humana. (Huaroma, 2018)

Más de mil millones de personas no disponen de agua potable, lo que induce que cada año mueran unos tres millones y medio de personas, en su mayoría niños, a causa de enfermedades relacionadas con la falta o el mal estado del agua. Además, se estima que del 80 % de los problemas de salud motivan consultas en el sistema público que está vinculado con el agua; como las diarreas, conjuntivitis y problema de la piel, entre otros. (Peña, 2007)

La problemática del agua implica de manera directa en la situación a la salud ambiental de la población. Este problema se da a nivel mundial, pues la población crece aceleradamente y no se tiene conciencia ambiental. A falta de saneamiento básico adecuado para las poblaciones rurales y comunidades, son los que se ven más afectados porque no cuentan con agua potable. (Peña, 2007)

En la actualidad el uso de coagulantes químicos en el tratamiento de aguas genera grandes costos. Los coagulantes naturales pueden disminuir en gran parte el uso de coagulantes químicos, por lo general los coagulantes naturales presentan una mínima cantidad de toxicidad, por ello se hace necesaria e imprescindible el uso de los mismos teniendo en cuenta que son bastante económicas. La producción del haba, se encuentra en distintas zonas andinas del Perú, ya sea en grano verde, grano seco o harina de haba, por eso se debería de aprovechar su uso. Por lo tanto, la utilización de coagulantes químicos para el tratamiento de aguas, generan grandes costos, así también generan malestares en la salud, por lo cual se pretende utilizar la harina de haba como ayudante del sulfato de aluminio, de tal forma disminuir la turbiedad del agua y minimizar los costos de operación. (Huaroma, 2018)

Las partículas coloidales en el agua presentan un diámetro entre 1 y 1000 mil micrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas en el agua son las principales responsables de la turbiedad (CEPIS, 2004).

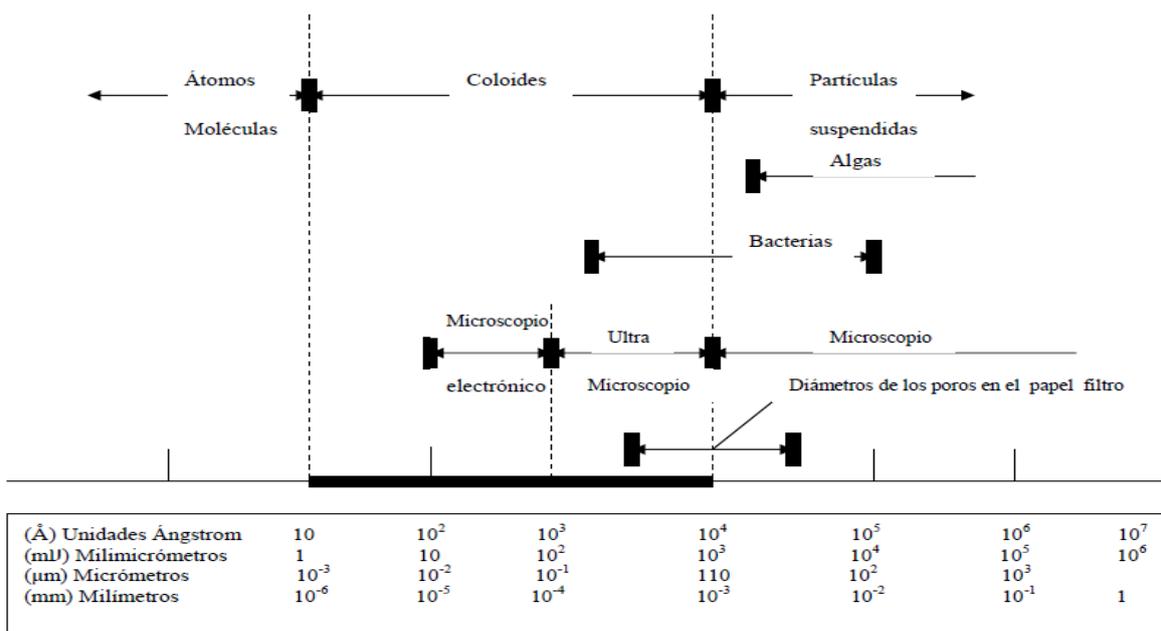


Figura 1. Distribución del tamaño de las partículas en el agua

Fuente: (CEPIS, 2004)

Para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objetivo desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración, este procedimiento está caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos. La floculación tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas. Estas partículas se aglutinan para formar un floc que pueda ser fácilmente eliminado por los procedimientos de decantación y filtración. (Cardenas, 2000)

El proceso de coagulación, floculación y sedimentación, son los procesos más relevantes en la potabilización del agua, por consiguiente, la variación de la turbiedad, temperatura, pH, entre otros, hace que varíe la calidad del agua a tratarse (Romero, 2016). Por tanto, el presente estudio de investigación, tiene por objetivo realizar la coagulación, floculación y sedimentación, el coagulante natural que se utilizó para el procedimiento de remoción de turbiedad es la harina de haba (*vicia faba*), así también el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , ya que es el coagulante más empleado por las plantas de tratamiento.

Existen pocos estudios de investigación, sobre el uso de la harina de haba para el tratamiento de agua, debido a su poco conocimiento de sus propiedades coagulativas, que permiten la remoción de la turbiedad del agua. Por lo tanto, la harina de haba, posee propiedades coagulativas, que son favorables para la remoción de la turbiedad, para ser utilizadas en las zonas rurales, debido a su bajo costo de aplicación.

Según Roncal & Siu (1990), realizaron la investigación de la Utilización del Almidón de Papa como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano, obteniéndose resultados positivos y el cual está sirviendo de base para las investigaciones en el tema de tratamiento de agua con coagulantes naturales que se están realizando actualmente en nuestro país.

Tomando en cuenta la información de los estudios realizados sobre el uso del coagulante natural harina de haba (*vicia faba*) para el tratamiento de aguas superficiales, en el presente estudio de investigación se planteó como objetivo evaluar la eficacia de la harina de haba (*vicia faba*) como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio para remover turbiedad en el tratamiento de agua para consumo humano.

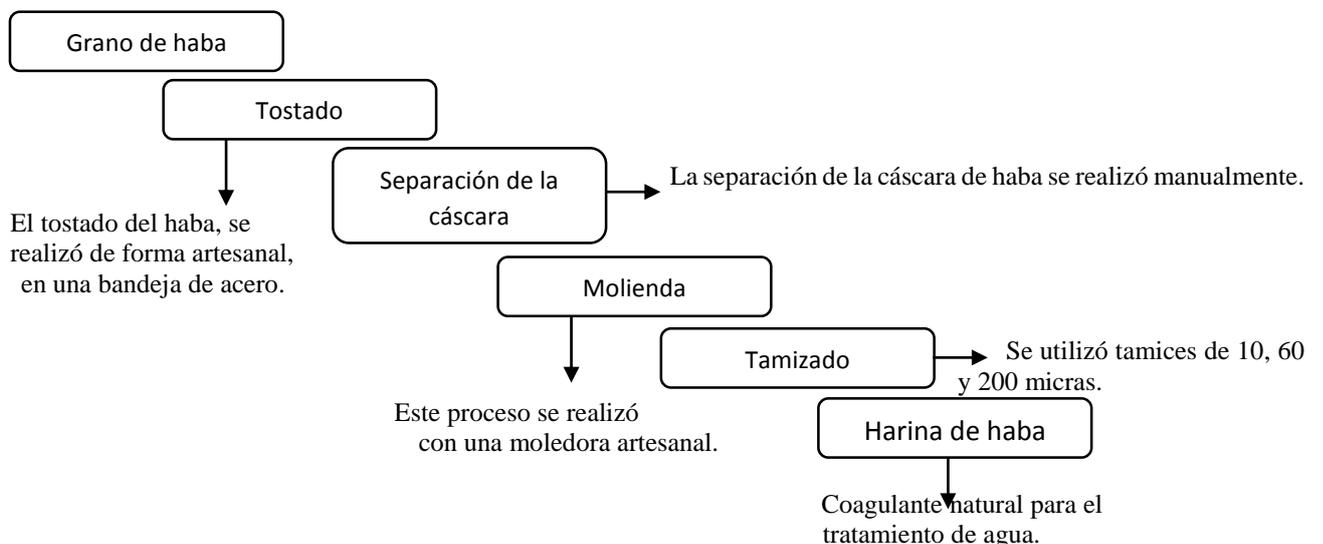
## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Descripción del Lugar de Estudio

Las evaluaciones del test de jarras se realizaron en el Laboratorio de Monitoreo Ambiental de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca – San Román – Puno.

### 2.2. Procedimiento

#### 2.2.1. Proceso para la obtención del coagulante natural harina de haba (*vicia faba*)



Fuente: (Calizaya, 2017)

### 2.2.2. Muestra de agua

Para las pruebas correspondientes, se realizó una simulación de agua artificial, preparada con arcilla.

### 2.2.3. Preparación de la solución $Al_2(SO_4)_3$

Se disolvió 1000 ml de agua destilada en 100 gramos de sulfato de aluminio, de esa manera se obtiene una solución al 10%. El ensayo de prueba de jarras se hace diluyendo 10 mL de la solución patrón hasta completar 100 mL con agua destilada. (CEPIS, 2004)

### 2.2.4. Preparación de la solución de la harina de haba

Según la metodología de Calizaya (2017), se pesó 10 gramos de harina de haba que se disolvió lentamente en un vaso precipitado con 50 ml de agua destilada, para evitar la formación de grumos hasta que forme una solución homogénea. En seguida se aforo a 100 ml de agua destilada en un matraz, para las siguientes pruebas de jarras.

### 2.2.5. Ensayo de jarras

Para las pruebas de laboratorio se preparó una mezcla artificial de agua con arcilla, seguidamente para los ensayos de tratabilidad, se analizó la turbiedad inicial de nuestra muestra de agua (114 UNT), a partir de los análisis se adicionaron en seis vasos precipitados 12 dosis diferentes de sulfato de aluminio de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 mg/L. a cada una de las muestras de agua, con el fin de obtener una turbiedad baja y encontrar la dosis óptima del sulfato de aluminio y la harina de haba. Se utilizó el test de jarras Marca VELP modelo JL T6 Serie 353871.

Se trabajó en dos mezclas: mezcla rápida a 300 RPM por 5 segundos y mezcla lenta a 40 RPM por 20 minutos y una sedimentación de 20 minutos según la metodología CEPIS.

A continuación, de cada vaso precipitado se realizó la prueba de turbidez final con un turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1, seguidamente para medir el pH y la temperatura del agua se utilizó un potenciómetro de mesa Marca MIL WAUKKEE modelo Mi 150. Para las dosis que mostraron mayor eficiencia de remoción de turbiedad fue de 25 mg/L, se realizaron ensayos de jarras adicionales con el fin de comparar el comportamiento del coagulante natural harina de haba (*vicia faba*), con un coagulante sintético ( $Al_2(SO_4)_3$ ). Todas las soluciones madre de los coagulantes, de donde se tomaron los volúmenes que se aplicaron en las pruebas de jarras, se prepararon a una concentración del 1 %.

### 2.2.6. Ensayo de dosis óptima: sulfato de aluminio – harina de haba

Esta fase se realizó en dos etapas, las cuales consisten de la siguiente manera:

**Etap 1:** Se mantuvo constante la dosis optima del  $Al_2(SO_4)_3$  y se aplicó dosis distintas de harina de haba de 10, 15, 20, 25, 30, 35 mg/L.

**Etap 2:** Para obtener mejor remoción y disminuir el coagulante químico se redujo la dosis optima del  $Al_2(SO_4)_3$  en 25, 20, 17, 15, 10, 5 mg/L y se aplicó la dosis óptima de la harina de haba.

Para hallar el porcentaje de remoción de turbiedad se usó la siguiente ecuación:

$$\%remocion = \frac{Turbidez\ inicial - turbidez\ final}{Turbidez\ inicial} * 100 \dots \dots (1)$$

### 2.2.7. Parámetros fisicoquímicos

Se analizó la turbidez, el pH y la temperatura, de la muestra inicial y final de cada vaso precipitado, de acuerdo con los métodos estándar.

### 2.3. Instrumentos

Para las pruebas de laboratorio se utilizaron un test de jarras Marca VELP modelo JL T6 Serie 353871, también se utilizó un potenciómetro de mesa Marca MIL WAUKEE modelo Mi 150, así mismo para las mediciones de turbidez se utilizó un turbidímetro Marca VELP SCIENTIFICA modelo TB1.

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Resultados del ensayo de dosis, concentración y pH óptimo

Los resultados que se muestran a continuación son de acuerdo al procedimiento del (CEPIS, 2004):

#### 3.1.1. Dosis óptima

En la (tabla 1) se presentan los resultados de la prueba de jarras para determinar la dosis óptima del  $Al_2(SO_4)_3$ , ya que es el más usado por las plantas de tratamiento. La dosis óptima fue de 25 mg/L el cual resulto ser el más eficiente disminuyendo la turbiedad final a 0.65 UNT y un pH de 6.97, los cuales se encontraron dentro del LMP del D.S. N° 031-2010-SA. Al obtener estos resultados de la (tabla 1) se realizó la siguiente grafica (figura 2) mostrando que a una baja dosis de coagulante no desestabiliza las partículas, obteniendo valores de turbiedad final elevados, en cambio, una dosis elevada provoca una inversión en la carga de la partícula también dando resultado de turbiedad final elevados.

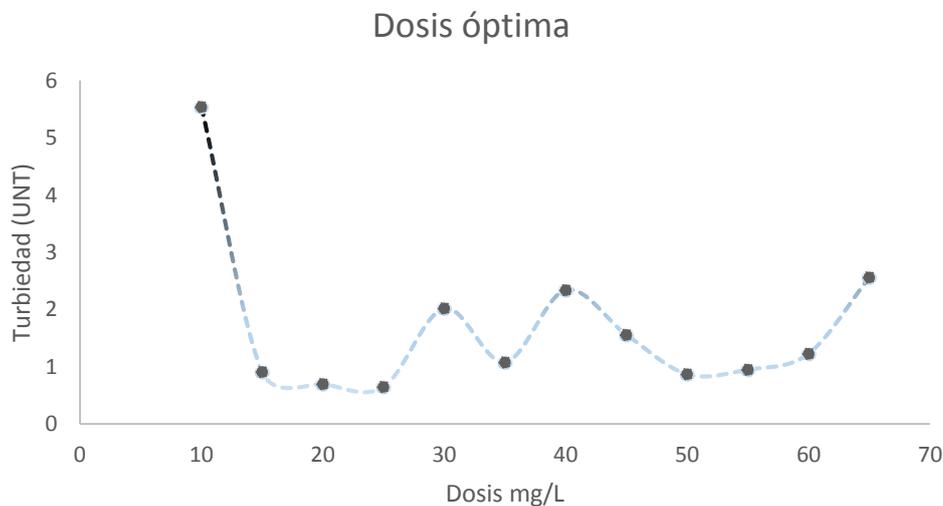


Figura 2. Dosis de sulfato de aluminio versus turbiedad final

#### 3.1.2. Concentración óptima

En la (tabla 2), nos muestra los resultados de concentración óptima que fue al 1%, con el cual se obtuvo una turbiedad final de 0.39 UNT y un pH de 7.08. motivo por el cual se realizó la siguiente grafica (figura 3) Se observa que a concentraciones altas los valores de la turbiedad final son bastantes elevadas.

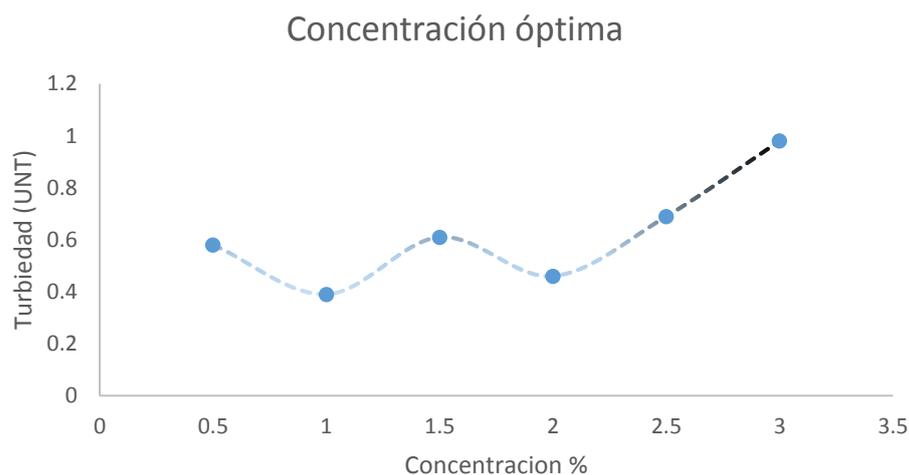


Figura 3. Concentración de sulfato de aluminio versus turbiedad final

### 3.1.3. pH óptimo

Obtenida la dosis y concentración se procedió a determinar el pH óptimo, El pH natural del agua se encontraba dentro del rango de acción del sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  (6.5-8.5) de acuerdo a los límites máximos permisibles obteniendo un resultado de la remoción de turbiedad efectiva, la cual se trabaja con ese valor para las siguientes pruebas de comparación ante la harina de haba.

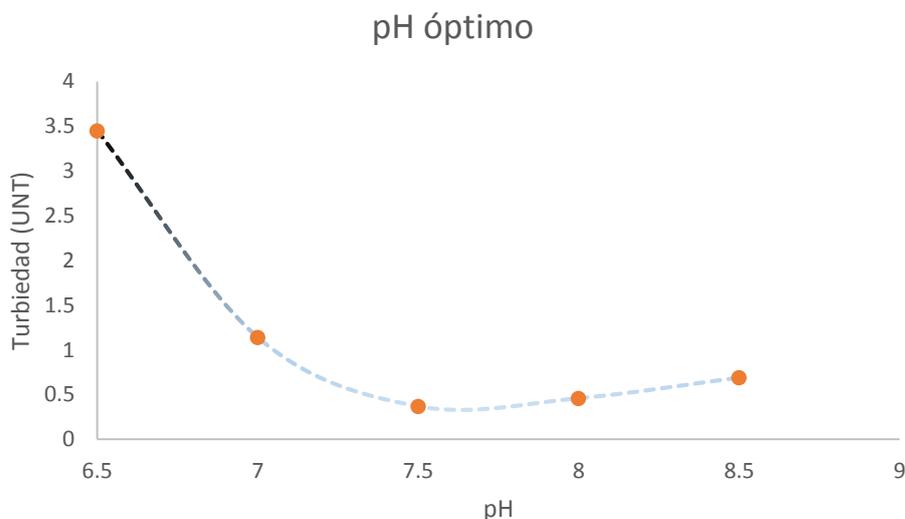


Figura 4. pH óptimo versus turbiedad final

## 3.2. Dosis óptima: sulfato de aluminio – harina de haba (*Vicia faba*)

### 3.2.1. Etapa 1: Dosis óptima de la harina de haba

Se realizó una evaluación de dosis óptima de la harina de haba y  $Al_2(SO_4)_3$ , manteniendo la dosis óptima de este último constante (tabla 1). La mejor remoción se obtuvo con una dosis de 20 mg/L de coagulante natural de harina de haba, la cual fue usada para los ensayos de la siguiente etapa. También pudimos observar que, al añadir el coagulante natural, se formó floculos, comparando con el índice de Willcomb el cual es de tamaño 6 – 8.

Tabla 1

*Dosis óptima para el coagulante natural harina de haba*

Agua superficial (muestra)		Turbidez = 114 UNT	Observación visual	Agua sedimentada		
N° de Pruebas	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Temperatura = 17°C pH = 7.06		Tiempo de formación de floculos	Índice de Willcomb	Turbidez (UNT)
HH-DO-01	25	10	3	4	1.56	7.15
HH-DO-02	25	15	2	6	1.15	7.3
HH-DO-03	25	20	2	6	0.98	7.24
HH-DO-04	25	25	2	4	1.27	6.57
HH-DO-05	25	30	2	4	0.87	6.98
HH-DO-06	25	35	2	4	0.45	7.1

*Nota:* HH = Harina de haba; DO = Dosis óptima; UNT = Unidades nefelométricas de turbidez.

### 3.2.2. Etapa 2: Dosis óptima: $Al_2(SO_4)_3$ – harina de haba

En base a los resultados obtenidos en la etapa 1, se realizó una nueva prueba disminuyendo la dosis óptima del sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y manteniendo constante la dosis óptima del coagulante natural harina de haba (20 mg/L), y los valores de pH se mantuvieron dentro de los Límites máximos permisibles (6.5 – 8.5).

Tabla 2

*Dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3$  y el coagulante natural harina de haba*

Agua superficial (muestra)			Turbidez = 114 UNT	Observación visual	Agua sedimentada		
N° de Pruebas	Tratamiento	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Temperatura = 17°C pH = 7.06		Tiempo de formación de floculos	Índice de Willcomb	Turbidez (UNT)
HH-D1-R1	T1	25	20	2	8	1.43	6.98
HH-D2-R1	T2	20	20	2	8	0.98	7.07
HH-D3-R1	T3	17	20	2	8	0.67	7.23
HH-D4-R1	T4	15	20	2	8	1.76	7.18
HH-D5-R1	T5	10	20	2	8	1.12	7.44
HH-D6-R1	T6	5	20	3	8	1.5	7.76
HH-D1-R2	T1	25	20	2	8	0.98	7.01
HH-D2-R2	T2	20	20	2	8	0.65	7.05
HH-D3-R2	T3	17	20	2	8	0.43	7.1
HH-D4-R2	T4	15	20	3	8	2.15	7.22
HH-D5-R2	T5	10	20	3	8	1.67	7.37
HH-D6-R2	T6	5	20	3	8	1.1	7.51
HH-D1-R3	T1	25	20	2	8	0.88	7.05
HH-D2-R3	T2	20	20	3	8	1.29	7.05
HH-D3-R3	T3	17	20	2	8	1.16	7.18
HH-D4-R3	T4	15	20	2	8	0.61	7.07
HH-D5-R3	T5	10	20	3	8	2.19	7.19
HH-D6-R3	T6	5	20	3	8	1.95	7.43

Nota: HH = Harina de haba; D = Dosis; R = Repetición; T = Tratamiento; UNT = Unidades nefelométricas de turbidez.

Con los resultados en la tabla 2, se procedió a realizar el cálculo de remoción de turbiedad, la cual mostro que en el tratamiento 3, el resultado final del promedio fue de 0.75 UNT.

Tabla 3

*Promedio de remoción de turbiedad de la harina de haba*

Variedad	Turbiedad final					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Harina de haba	1.43	0.98	0.67	1.76	1.12	1.5
	0.98	0.65	0.43	2.15	1.67	1.1
	0.88	1.29	1.16	0.61	2.19	1.95
Promedio	1.10	0.97	0.75	1.51	1.66	1.52
%Remoción	99.03	99.14	99.34	98.67	98.54	98.66

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de la eficiencia del coagulante natural harina de haba en relación a la turbiedad, se mostró que, si es eficiente, logrando que el agua tratada en cuanto al parámetro de la turbiedad (0.75 UNT) se encuentra dentro de lo establecido en el Límite máximo permisible de la calidad del agua (Turbidez 5 UNT). D.S. N° 031-2010-SA.

#### **4. Conclusiones**

Los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación permiten concluir que los procesos de coagulación y floculación son eficientes ante la remoción de turbiedad para el tratamiento de agua para consumo humano. A partir de las pruebas realizadas se puede concluir de la siguiente manera:

- Las plantas potabilizadoras convencionales utilizan generalmente sales de aluminio o hierro para sus procesos de coagulación y en algunos casos polímeros sintéticos como ayudantes de coagulación, debido a esto, existen muchos casos de un desconocimiento de las ventajas y cualidades de productos naturales.
- Se demostró que la harina de haba se puede utilizar como ayudante de coagulante natural, obteniendo una gran disminución de la turbiedad del agua tratada, por consiguiente, la turbiedad final fue de 0.75 UNT.
- La adición de coagulantes naturales, como ayudante de coagulación, reducen significativamente la dosis del coagulante químico sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$
- En todas las pruebas realizadas se observó la formación de floculos con la adición de la harina de haba en muy rápido tiempo, nuestra formación de floculo tuvo un tamaño de 0.75 – 1.0 mm.
- Los coagulantes naturales se han caracterizado, ampliamente, por su potencial alternativa a los coagulantes químicos en el tratamiento de agua.
- El coagulante natural harina de haba es una excelente alternativa para la potabilización de agua en zonas rurales y, en general, en áreas pobres y de déficit acceso geográfico en países en vías de desarrollo.

#### **Agradecimientos**

A la Universidad Peruana Unión por ser mi guía de mi formación académica y a los docentes quienes me ayudaron a realizar esta investigación.

## Referencias Bibliográficas

- Aldana Rivera, E. A. (2012). Uso del extracto de la semilla de moringa oleifera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano.
- Báez, O., & Fernanda, 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* (Bachelor's thesis).
- Calizaya, M. C. (2017). *Coagulante natural: Vicia Faba, para el tratamiento del agua potable* .
- Camareno, M. V., & Esquivel, L. G. R. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 19(4), 37-41.
- Cardenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua Coagulación y Floculación*. Lima.
- CARO, I. (1992). *Obtención de concentrados proteicos a partir de harina de haba (vicia faba)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogota. .
- CENTRAL, R. D. (2011). Proyecto de Agua Potable y Saneamiento Rural en la Comunidad de El Chile ». Río Blanco , Nicaragua .
- CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida* . Lima: (Tomo I).
- Dávila Paredes, C. M. G., Polo Salazar, R. A., Flores Albornoz, J. I., Huamán Carranza, M. M., & Araujo Jamanca, N. (2017). Evaluación de efectividad de especies naturales como ayudantes de coagulación, para clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en los Caserios y Centros Poblados de Huaraz y Callejon de Huaylas año 2016-2017.
- Ledo, P., Lima, R., Duarte, M., & Paulo, J. (2009). Estudio comparativo del sulfato de aluminio y semillas de Moringa oleifera para la depuración de aguas con baja Turbiedad. Universidad Federal do Rio Grande do Norte. Brasil. Centro de Tecnología.
- López, R., Laines, J., & Hernández, J. (2011). Uso potencial de agentes de origen vegetal para la remoción de turbiedad en el tratamiento de aguas superficiales. Universidad Juarez Autonoma de Tabasco.
- LOZANO RIVAS & LOZANO BRAVO, (2015) Uso de coagulantes naturales en el proceso del agua, dosis de coagulante aplicada a la muestra.
- Martínez, D., Chávez, M., Altamira, D., Elsa, C., & Nola, F. 2003. Eficacia del *cactus lefaria* para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. Revista Tecnológica. Facultad de Ingeniería Universidad (RTFUIZ).
- Mejías, D. G., Delgado, M. C., Masyrubi, M., Ramos, E. C., & Acosta, N. F. (2010). Uso potencial del exudado gomoso de Cedrela odorata como agente coagulante para el tratamiento de las aguas destinadas a consumo humano. *La Revista Forestal Venezolana*, 54(2), 147-154.
- MINSA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, DS N° 031 - 2010 - S.A. (2011)
- Olivero, R, Mercado, I., & Montes, L. 2013. Remoción de la turbidez del agua del rio Magdalena usando el mucilago del nopal *Opuntia ficus-indica*.
- Peña García, A. (2007). *Una perspectiva social de la problemática del agua. Investigaciones geográficas*, (62), 125-137.
- PÉREZ, J., (2001), Evaluación de procesos de coagulación.
- Quezada, N. A. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua" Piedras Azules. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 4.
- Quirós, N; Vargas, M; Jiménez, J. (2010). Extracción y análisis de polímeros obtenidos a partir de varios productos naturales, para ser usados como potenciales floculantes en el tratamiento de agua para consumo humano. Costa Rica. CIPA.

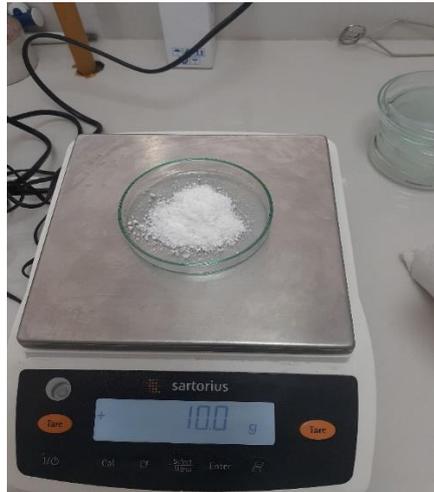
- Quispe Barreto, M. Á., Chávez, R., & Yovana, R. (2018). Estimación de la calidad del agua de río Chucchun–Carhuaz, empleando insumos orgánicos “agave americano (penca) y el triticum vulgare (trigo)” con proceso modificado de filtración lenta en el año 2016.
- Ramírez, L; Suárez, J; Ramírez, J. (2011). Evaluación de las propiedades floculantes de *Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus* para clarificación de aguas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.
- Ramírez Flores, K. D. P. (2017). “Dosis De Coagulante Natural *Caesalpinia Spinosa* Para Mejorar La Calidad De Las Aguas Residuales En El Dren 4000”.
- Restrepo, H. (2009). Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Tesis Especialidad. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- REITEC. (2005). Turbidez. . Las Palmas.
- Romero, H. W. (2016). *Determinación de los parametros hidraulicos en la floculación ortocinética utilizando la vicia faba, para la remoción de turbiedad del Rio Monterrey*. Huaraz - Ancash..
- Romero, R. (2000). Transferencia de metales en pacientes sometidos a hemodiálisis en hospitales de Maracaibo. Universidad del Zulia, 2-5.
- Romero S. L. E. (2019). *Evaluación de la utilización del almidón de papa, yuca y banano como bio coagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2019).
- Tahua, S., & Steven, W. (2015). Utilización de la semilla natural *Moringa Oleífera* como ayudante de la coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caraz provincia de Huaylas Ancash.
- Torres Contreras, V. (2017). Análisis del coagulante natural *opuntia ficus* con fines de implementación de una planta potabilizadora de agua en Chalhuanca, Apurímac, 2016.

## Anexos

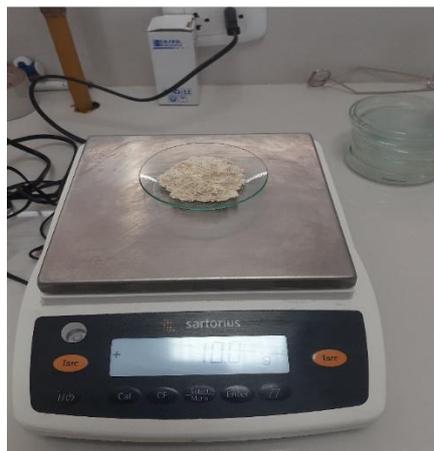
### Anexo A. Índice de floculación de Willcomb

<b>Número del índice</b>	<b>Descripción</b>
0	Flóculo coloidal. Ningun signo de aglutinación.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta.)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina.

## Anexo B. Panel Fotográfico



*Figura 1.* Pesado de sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$



*Figura 2.* Pesado de la harina de haba



*Figura 3.* Solución de sulfato de aluminio a 1000 ml



*Figura 4.* Solución de harina de haba a 1000 ml



*Figura 5.* Solución de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  a distintas dosis



Figura 6. Muestra de agua turbia

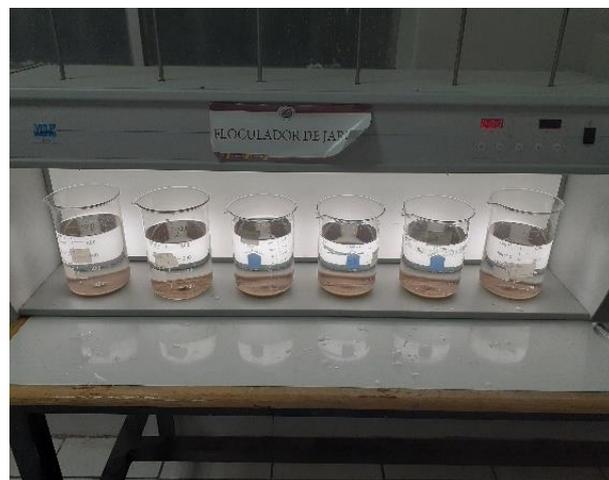


Figura 7. Prueba de jarras



Figura 8. Medición de Turbidez



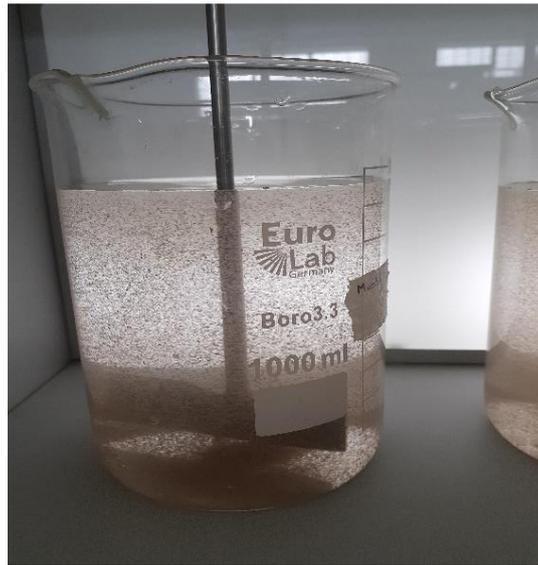
*Figura 9.* Potenciómetro de mesa modelo Mi 150



*Figura 10.* Turbidímetro modelo TB1



*Figura 11.* Medición de dosis de sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$



*Figura 12. Formación de floculos*

**Anexo C. Ensayo de Laboratorio**

**INFORME DE ENSAYO - UPEU**

**DATOS**

**A SOLICITUD DE** : Soledad Vilma Tunco Cabana  
**ASUNTO** : Prueba de jarras  
**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA** : Agua artificial (muestra)  
**MOTIVO** : Ejecución del trabajo de investigación  
 “Eficacia de la harina (*Vicia faba*) como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano”  
**FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO:** 21 de octubre  
**LUGAR DE ANÁLISIS** : Laboratorio de Monitoreo Ambiental

**Resultados de ensayo de dosis óptima**

Agua superficial (muestra)	Turbiedad = 114 UNT		Observación visual	Agua sedimentada	
	Temperatura = 17°C			Turbidez	pH
	pH = 7.06				
Nº de Pruebas	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Tiempo de formación de flóculos (min)	Índice de Willcomb		
DO-01	10	3	2	5.54	6.6
DO-02	15	2	6	0.91	6.74
DO-03	20	2	4	0.7	6.77
DO-04	25	2	4	0.65	6.95
DO-05	30	2	6	2.02	6.88
DO-06	35	2	4	1.08	6.84
DO-07	40	3	4	2.34	6.75
DO-08	45	2	2	1.56	6.9
DO-09	50	3	2	0.87	6.98
DO-10	55	2	2	0.95	7.01
DO-11	60	2	4	1.23	6.67
DO-12	65	2	4	2.56	6.89



## INFORME DE ENSAYO - UPEU

### DATOS

**A SOLICITUD DE** : Soledad Vilma Tunco Cabana  
**ASUNTO** : Prueba de jarras  
**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA** : Agua artificial (muestra)  
**MOTIVO** : Ejecución del trabajo de investigación  
 “Eficacia de la harina (*Vicia faba*) como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano”

**FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO:** 21 de octubre

**LUGAR DE ANÁLISIS** : Laboratorio de Monitoreo Ambiental

### Resultados de ensayo de concentración óptima

Agua superficial (muestra)		Turbidez = 114 UNT	Observación visual		Agua sedimentada	
		Temperatura = 17°C				
		pH = 7.06				
Nº de Pruebas	Concentración de sulfato de aluminio (%)	Concentración de sulfato de aluminio (mg/L)	Tiempo de formación de floculos	Indice de Willcomb	Turbidez (UNT)	pH
CO-01	0.5	5	2	4	0.58	7.06
CO-02	1	2.5	3	4	0.39	7.08
CO-03	1.5	1.7	5	4	0.61	6.92
CO-04	2	1.3	6	4	0.46	6.92
CO-05	2.5	1	8	4	0.69	6.83
CO-06	3	0.8	10	4	0.98	6.78



## INFORME DE ENSAYO - UPEU

### DATOS

**A SOLICITUD DE** : Soledad Vilma Tunco Cabana  
**ASUNTO** : Prueba de jarras  
**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA** : Agua artificial (muestra)  
**MOTIVO** : Ejecucion del trabajo de investigacion  
 “Eficacia de la harina (*Vicia faba*) como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano”  
**FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO:** 21 de octubre  
**LUGAR DE ANÁLISIS** : Laboratorio de Monitoreo Ambiental

### Resultados de ensayo de pH óptimo

Agua superficial (muestra)		Turbidez = 114 UNT	Observación visual		Agua sedimentada	
		Temperatura = 17°C				
		pH = 7.06				
N° de Pruebas	pH	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Tiempo de formación de flóculos	Índice de Willcomb	Turbidez (UNT)	pH
PO-01	6.5	25	6	2	3.5	6.85
PO-02	7	25	4	4	1.26	6.99
PO-03	pH muestra (7.06)	25	3	2	1.13	7.03
PO-04	7.5	25	3	2	0.43	7.06
PO-05	8	25	3	2	0.5	7.29
PO-06	8.5	25	4	2	0.98	6.96



## INFORME DE ENSAYO - UPEU

### DATOS

**A SOLICITUD DE** : Soledad Vilma Tunco Cabana  
**ASUNTO** : Prueba de jarras  
**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA** : Agua artificial (muestra)  
**MOTIVO** : Ejecucion del trabajo de investigacion  
 “Eficacia de la harina (*Vicia faba*) como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano”  
**FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO:** 21 de octubre  
**LUGAR DE ANÁLISIS** : Laboratorio de Monitoreo Ambiental

### Promedio de remoción de turbiedad de harina de haba

Variedad	Turbiedad final					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Harina de haba	1.43	0.98	0.67	1.76	1.12	1.5
	0.98	0.65	0.43	2.15	1.67	1.1
	0.88	1.29	1.16	0.61	2.19	1.95
<b>Promedio</b>	1.10	0.97	0.75	1.51	1.66	1.52
<b>%Remoción</b>	99.03	99.14	99.34	98.67	98.54	98.66

