

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



Una Institución Adventista

**Uso de residuos de papa, como auxiliar del sulfato de aluminio para
clarificación de aguas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Lizbeth Ynofuente Quispe

Magali Flores Condori

Asesor:

Mtro. Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, julio de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

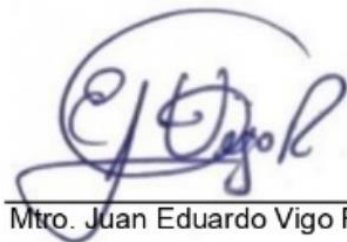
Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“USO DE RESIDUOS DE PAPA, COMO AUXILIAR DEL SULFATO DE ALUMINIO PARA CLARIFICACIÓN DE AGUAS”** constituye la memoria que presenta los Bachilleres Lizbeth Ynofuente Quispe y Magali Flores Condori para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada 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 declaración en la ciudad de Juliaca, a los 11 días del mes de julio del año 2022



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a... 08... día(s) del mes de julio del año 2022, siendo las 13:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Enrique Mamani Luján, el secretario: Msc. Rose Adeline Gallata Churo y los demás miembros: Dr. Efraim Lujano Luján y el asesor: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera.

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: 'Uso de residuos de papa como auxiliar del sulfato de aluminio para clarificación de aguas'.

de el(los)la(s) bachiller(es): a) Magali Flores Londeri b) Lizbeth Inofuente Quispe conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en... El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)/(las) candidato(a)s a 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 el(los)/la(las) 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): Magali Flores Londeri

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito. Row 1: Aprobado, 16, B, Bueno, Muy Bueno.

Candidato (b): Lizbeth Inofuente Quispe

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito. Row 1: Aprobado, 16, B, Bueno, Muy Bueno.

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)/(las) 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.

Signatures and names for Presidente, Asesor, Secretario, and two Miembros. Candidate lines for (a) and (b) are also present.

Uso de residuos de papa, como auxiliar del sulfato de aluminio para clarificación de aguas

Use of potato residues, as an auxiliary of aluminum sulfate for water clarification

Lizbeth Ynofuente Quispe ^{a*}, Magali Flores Condori ^b y Juan Eduardo Vigo Rivera^c

^aBachiller en Ingeniería Ambiental de la E.P. de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión-Filial Juliaca

^bBachiller en Ingeniería Ambiental de la E.P. de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión-Filial Juliaca

^cMaestro de la E.P. de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión-Filial Juliaca

Resumen

En el tratamiento de agua para consumo intervienen los procesos de coagulación-floculación en el que se emplean como coagulantes el sulfato de aluminio o sales de hierro, que eliminan las partículas suspendidas que producen turbidez en el agua. El objetivo del presente estudio fue evaluar el uso de los residuos (cáscara) de tres variedades de papa (imilla negra, roja y blanca), como auxiliar del sulfato de aluminio para clarificación de aguas. Para lo cual se trabajó con una muestra simulada de 40 UNT a 16 °C con un pH 7,16. Se utilizó la metodología CEPIS para la determinación de la dosis óptima, en un Test de jarras a 300 rpm en 5 s para la mezcla rápida, 40 rpm en 20 min para la floculación y 20 min para la sedimentación. El diseño experimental fue un arreglo factorial 7A x 9B, A: Tratamientos con reactivos y B: Dosificación de reactivos. Los resultados indican que el tratamiento 3 (sulfato de aluminio + cáscara de papa roja) a una dosis de 30 mg/L mostró la turbidez más baja de 0,85 UNT a un pH de 6,99, teniendo una eficiencia de remoción al 97,87 %. Además, el tratamiento 2 (sulfato de aluminio + cáscara de imilla negra) a una dosis de 35 mg/L presentó una turbidez de 0,90 UNT a un pH de 6,96 mostrando una eficiencia de 97,74 % de remoción de turbidez. Para la prueba de Dunnet no hay diferencia significativa entre los tratamientos 2 y 3. En consecuencia se puede emplear las cáscaras de papa como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio. Para la prueba de Dunnet no hay diferencia significativa para las cáscaras de la papa Imilla y papa roja como ayudantes de coagulación del sulfato de aluminio.

Palabra clave: almidón de cascara de papa, coagulante, floculación, dosis optima, sulfato de aluminio, tratamiento de aguas, turbidez

Abstract

In the treatment of water for consumption, coagulation-flocculation processes are used in which aluminum sulfate or iron salts are used as coagulants, which eliminate suspended particles that produce turbidity in the water. The objective of this study was to evaluate the use of the residues (peel) of three potato varieties (black, red and white imilla), as an aid to aluminum sulfate for water clarification. For which we worked with a simulated sample of 40 UNT at 16 °C with a pH of 7.16. The CEPIS methodology was used to determine the optimal dose, in a jar test at 300 rpm in 5 s for rapid mixing, 40 rpm in 20 min for flocculation and 20 min for sedimentation. The experimental design was a 7A x 9B factorial arrangement, A: Treatments with reagents and B: Dosage of reagents. The results indicate that treatment 3 (aluminum sulfate + red potato peel) at a dose of 30 mg/L showed the lowest turbidity of 0.85 NTU at a pH of 6.99, having a removal efficiency of 97%. .87%. In addition, treatment 2 (aluminum sulfate + black imilla husk) at a dose of 35 mg/L showed a turbidity of 0.90 UNT at a pH of 6.96, showing an efficiency of 97.74% turbidity removal. For Dunnet's test there is no significant difference between treatments 2 and 3. Consequently, potato skins can be used as coagulation aid for aluminum sulfate. For the Dunnet test there is no significant difference for imilla potato and red potato peels as coagulation aids for aluminum sulfate.

Keywords: potato peel starch, coagulants, flocculation, optimal dose, aluminum sulfate, water treatment, turbidity

1. Introducción

El agua cruda en su estado natural por lo general no cumple con los estándares mínimos de calidad exigidos para consumo humano (Broncano & Rosario, 2017), por ende, para garantizar las condiciones de calidad para el consumo y que sea inocua, es necesario someterla a un proceso de potabilización para la remoción total o parcial de impurezas.

En este proceso de potabilización del agua actúa la coagulación y floculación. “La coagulación realiza la desestabilización química de las partículas coloidales mediante la adición de coagulantes químicos y la aplicación de energía de mezcla, por otro lado, la floculación permite el crecimiento y aglomeración de los flóculos para aumentar el tamaño y peso necesario para una fácil sedimentación” (Andía, 2000).

Dentro de los reactivos químicos más empleados para la potabilización del agua están el sulfato de aluminio y el cloruro férrico por su efectividad (Barrenechea, 2004). Sin embargo, estos presentan algunas desventajas como el alto costo de adquisición, la producción de lodos que son difíciles de tratar, y la alteración del pH del agua tratada (Guzmán et al., 2013). Según, Trejo & Hernández (2004) la presencia del aluminio en el agua tratada se asocia con la enfermedad del Alzheimer en los seres humanos. Por otro lado, Miller et al. (2008) mencionan que la exposición a concentraciones mayores de 0,1 mg/L de aluminio generan toxicidad en el agua.

Frente a esta problemática del uso de reactivos químicos se han planteado nuevas alternativas como el uso de coagulantes naturales o comúnmente conocidos como polímeros naturales para el tratamiento de agua para consumo humano (Jiménez & Vladimir, 2015). Los polímeros naturales han llegado a ser de gran interés para muchos investigadores, debido a que no generan efectos nocivos al ambiente y a la salud de los seres humanos, dada su naturaleza orgánica y su bajo costo de obtención (Bravo, 2017). Tal es el caso del almidón de residuos de papa, según investigaciones por Carrasquero et al. (2017), Broncano & Rosario (2017), Tito et

al. (2020) y Vilavila (2018) que obtuvieron en sus investigaciones resultados favorables en cuanto a la remoción de la turbidez. El objetivo del presente artículo es evaluar el uso de los residuos (cáscara) de tres variedades de papa (imilla negra, roja y blanca), como auxiliar del sulfato de aluminio para clarificación de aguas.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

Esta investigación se realizó en el laboratorio de saneamiento ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental que se encuentra en las instalaciones de la Universidad Peruana Unión- Filial Juliaca, a condiciones controladas.

2.2. Selección de papa y obtención del almidón de la cáscara de papa

Se seleccionó tres variedades de papa (imilla negra, roja y blanca). MINAGRI (2017) manifiesta que alrededor de 4 000 variedades de papas se encuentran en el Perú entre las que se destacan en la Región Puno la 1) papa imilla negra, 2) papa roja y 3) papa blanca (ver Fig.1). Para la obtención del almidón de la cáscara de papa se empleó la metodología propuesta por Camacho et al. (2020) la cual se describe a continuación. 1) Recolección de cáscara de papa: Las cáscaras fueron recolectadas de diferentes establecimientos de comida en la ciudad de Juliaca (Perú). 2) Lavado de las cáscaras: Se procedió a lavar las cáscaras de papa con abundante agua. 3) Secado de las cáscaras: En un horno (BINDER FD 23) a una temperatura de 100 °C por 24 horas. 4) Molienda: Se trituró en un molino (CORONA) hasta obtener gránulos pequeños. 5) Tamizado: Se hizo pasar por un tamiz de 100 µm. 6) Envasado: Envasado en frascos de vidrio.



Figura 1. Variedades de cáscara de papa empleadas en el estudio.

2.3. Preparación de la solución de sulfato de aluminio

Preparación del sulfato de aluminio bajo la metodología CEPIS (2004): En una balanza analítica (SARTORIUS) se pesó 100 g de sulfato de aluminio y disolvió en una fiola de 1000 mL de agua destilada, obteniendo una solución al 10% (solución patrón) luego se sacó 10 mL de la solución en una fiola de 100 mL obteniendo una solución al 1%.

2.4. Preparación de almidones de cáscaras de papa

Para la preparación de los almidones de cáscaras de las tres variedades de papa (imilla negra, roja y blanca) se siguió la metodología propuesta por Chalco (2016): Se pesó 10 g de almidón de cáscara de papa y disolvió en un vaso precipitado de 100 mL de agua destilada agitando constantemente con una varilla de vidrio hasta lograr una solución homogénea de almidón al 10% (solución madre). Posteriormente se vertió la solución en una fiola de 1000 mL agua destilada hasta aforar. Seguidamente se sacó 10 mL de la solución en una fiola de 100 mL obteniendo una solución al 1%. Luego se sometió a calentamiento hasta 70 °C lo cual se conoce como gelatinización del almidón, donde los gránulos de almidón empiezan a hincharse y a aumentar el volumen hasta llegar al punto en que los gránulos hinchados se romperán parcialmente dando lugar a que la amilosa y la amilopectina que actuarán como eficientes auxiliares de coagulación(Chalco, 2016).

2.5. Preparación del agua turbia sintética

Se preparó el agua turbia sintética con arcilla hasta obtener 40 UNT con una temperatura de 16 °C a un pH 7,16.

2.6. Determinación de la dosis, concentración y pH óptimo del sulfato de aluminio

Siguiendo la metodología propuesta por el CEPIS (2004) que se muestra a continuación.

1) Determinación de la dosis óptima: Mediante el equipo de prueba de jarras marca VELP modelo JLT6 serie 35387 añadiendo dosis de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 mg/L de sulfato de aluminio de forma creciente para cada una de las jarras que contienen 1000 mL de agua turbia se colocaron en el equipo de prueba de jarras a 300 rpm por 5 segundos mezcla rápida, 40 rpm mezcla lenta y 20 minutos la etapa de sedimentación. Una vez sedimentada antes de tomar la muestra para determinar la turbidez final, se tomaron aproximadamente 10 mL de agua de cada vaso para descartarla. 2) Concentración óptima: Se preparó soluciones a diferentes concentraciones 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 y 10,0%. 3) Determinación de pH óptimo: Se preparó muestras con pH de 6,5; 7,0; 8,0 ;8,5 y natural.

2.7. Determinación de la dosis óptima del sulfato de aluminio + almidones de cáscaras de papa

Siguiendo la metodología propuesta por el CEPIS (2004) se consideró como base la dosis óptima del sulfato de aluminio que fue 35 mg/L, seguido a ello se prepararon dosis de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 mg/L de almidón de cáscara de papa, para luego realizar la prueba de jarras siguiendo el mismo procedimiento para la dosis óptima del sulfato de aluminio.

2.8. Determinación de dosis ajustada del sulfato de aluminio

Se siguió la metodología propuesta por el CEPIS (2004), realizando nuevos ensayos disminuyendo la dosis óptima del sulfato de aluminio a diferentes dosis. Luego se adicionó

almidón de cáscara de papa en cada uno de los vasos, excepto en el vaso 1 que se tomó como testigo.

2.9. Determinación de la eficiencia

A partir de los datos obtenidos de turbidez, se calculó la eficiencia de remoción de los tratamientos, expresada en porcentajes de remoción, Para ello se empleó la ecuación 1:

$$\% \text{remoción} = \frac{\text{turbidez inicial} - \text{turbidez final}}{\text{turbidez inicial}} * 100 \quad (1)$$

2.10. Diseño experimental

Se trabajó con un arreglo factorial 7A x 9B (Factor A: Tratamientos con reactivos, Factor B: Dosificación de reactivos) con 3 repeticiones para los tratamientos 1, 5, 6 y 7; y 5 repeticiones para los tratamientos 2,3 y 4 obteniendo 243 unidades experimentales. La variable respuesta fue la turbidez (UNT). Los datos fueron procesados con el programa SPSS Statistcs V28 y Excel.

2.11. Tratamientos

T1: Sulfato de aluminio, T2: Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa imilla negra, T3: Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa roja, T4: Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa blanca, T5: Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa imilla negra, T6: Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa roja, T7: Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa blanca.

3. Resultados

3.1. Obtención del almidón de la cáscara de papa

De 5 kg de cáscaras de papa de las variedades imilla negra, roja y blanca se obtuvieron un total 800 g de almidón de cada variedad (Fig. 2)



Figura 2. Almidones de cáscara de papa (imilla negra, roja y blanca)

3.2. Determinación dosis óptima del sulfato de aluminio

Los resultados de la prueba de jarras indicaron que la dosis de 35 mg/L es la más eficiente porque con esta se obtuvo una turbiedad final de 2,36 UNT y un pH 6,88 (Anexo 1), convirtiéndose en la dosis óptima para trabajar en las siguientes pruebas (Fig. 3).

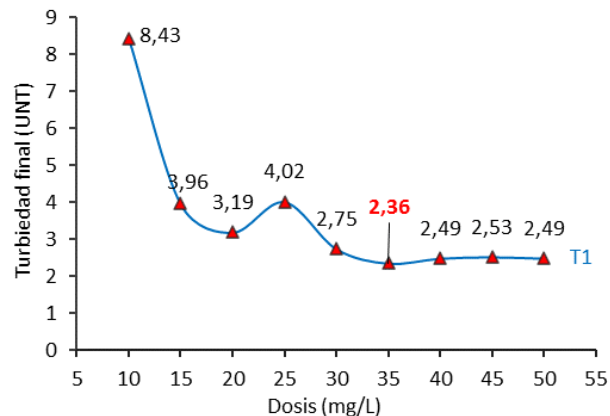


Figura 3. Determinación de la dosis óptima del sulfato de aluminio (T1)

3.3. Determinación de la concentración óptima del sulfato de aluminio

De las seis concentraciones preparadas la óptima fue al 1% con una turbiedad final de 1,04 UNT y pH 6,94 (Fig. 4), se hace mención también, que la concentración preparada al 10% que viene a ser la solución patrón (Anexo 2), registró una turbidez final de 11,38 UNT con pH 5,14, cuyo resultado se encuentra fuera del LMP (>5UNT).

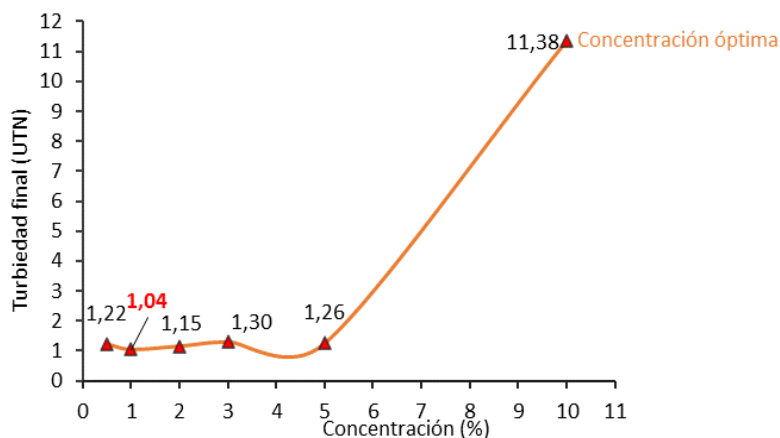


Figura 4. Concentración óptima del sulfato de aluminio.

3.4. Determinación del pH óptimo del sulfato de aluminio

Con los valores de dosis y concentración se procedió a evaluar diferentes pH para encontrar el óptimo valor del mismo (Fig. 5), siendo el más eficiente el pH natural del agua, reportando una turbidez final de 1,11 UNT y pH 6,93 (Anexo 3).

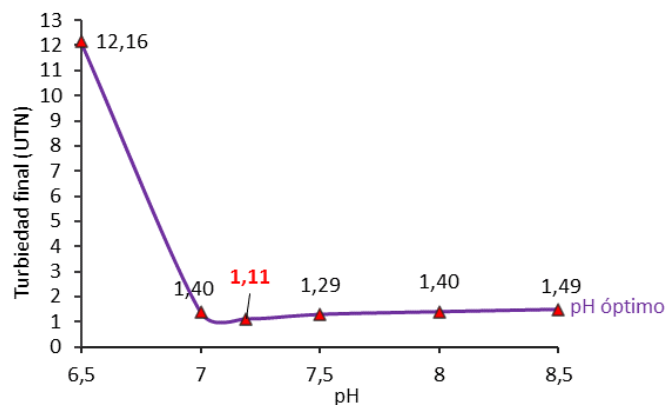


Figura 5. pH óptimo del sulfato de aluminio.

3.5. Determinación de la dosis óptima del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa variedad imilla negra, roja y blanca

La variedad roja presentó mejores resultados con turbiedad final de 0,85 UNT y pH 6,99 (Fig. 6); seguidamente por la variedad imilla negra con turbidez final de 0,90 UNT y pH 6,96 y la variedad blanca con turbidez final de 1,72 UNT con pH 6,91 (Anexo 4 y 5), decidiendo trabajar con estos valores para los siguientes ensayos. Por último, todos los resultados obtenidos se encuentran dentro del LMP (<5 UNT).

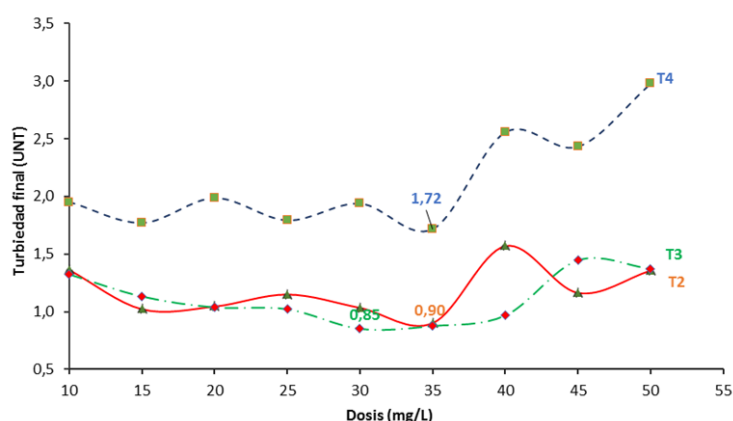


Figura 6. Determinación de la dosis óptima del sulfato de aluminio con almidón de cáscara de papa variedad; imilla negra, roja y blanca

3.6. Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa variedad; Imilla negra, roja y blanca

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. 6., se realizó una nueva prueba disminuyendo la dosis óptima del sulfato de aluminio en un 50% (Anexo 6) y manteniendo constante las dosis óptimas de las cáscaras de papa variedad; imilla negra y blanca 35 mg/L y roja 30 mg/L. Se manifiesta que todos los resultados conseguidos en cada tratamiento se encuentran dentro del LMP (< 5 UNT).

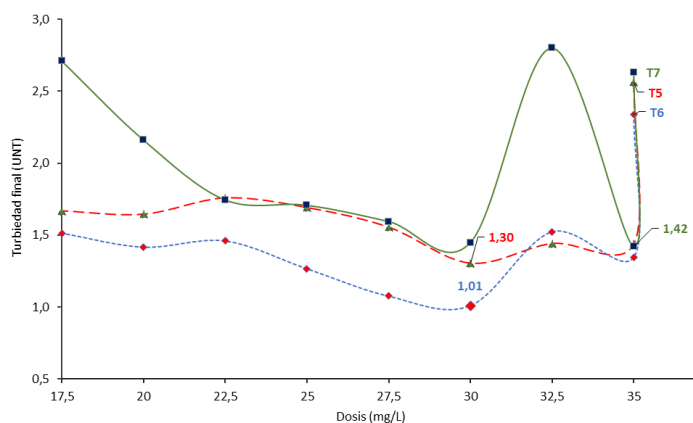


Figura 7. Determinación de la dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa variedad; imilla negra, roja y blanca

3.7. Remoción de turbidez de las tres variedades de papa

La cáscara de papa que reportó mejor porcentaje de remoción de turbidez junto a la dosis óptima del sulfato de aluminio fue la roja alcanzando 97,87% y turbidez final de 0,85 UNT seguido la cáscara de papa imilla negra reportando 97,74% con turbidez final de 0,90 UNT, por último, la cáscara de papa blanca con 95,71% porcentaje de remoción y turbidez final de 1,72 UNT (Tabla 1). Dado estos resultados se deduce que el almidón de cáscara de papa roja fue mejor que las demás variedades.

Tabla 1

Remoción de turbidez de las cáscaras de tres variedades de papa

Turbidez inicial: 40 UNT pH inicial: 7,16							
Dosis (mg/L)		Tratamiento 2		Tratamiento 3		Tratamiento 4	
Sulfato de aluminio	Almidón	Papa imilla negra (UNT)	Remoción (%)	Papa roja (UNT)	Remoción (%)	Papa blanca (UNT)	Remoción (%)
35	10	1,36	96,59	1,32	96,69	1,95	95,12
35	15	1,02	97,44	1,13	97,17	1,77	95,58
35	20	1,05	97,38	1,04	97,41	1,99	95,04
35	25	1,15	97,12	1,02	97,45	1,79	95,52
35	30	1,04	97,41	0,85	97,87	1,94	95,16

35	35	0,9	97,74	0,88	97,81	1,72	95,71
35	40	1,57	96,07	0,97	97,58	2,56	93,61
35	45	1,17	97,09	1,45	96,39	2,43	93,92
35	50	1,36	96,6	1,37	96,57	2,98	92,55

3.8. Remoción de la dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa variedad; imilla negra, roja y blanca

Con los resultados de la Fig. 7 se calculó los promedios de remoción de los 9 tratamientos estudiados (Ver Tabla 2). Para la variedad de papa imilla negra, la dosis de sulfato de aluminio a 30 mg/L registró un porcentaje de remoción 96,74%. De igual forma para la variedad de papa roja el mejor fue 30 mg/L de sulfato de aluminio alcanzando un porcentaje de remoción del 97,48% y para la variedad de papa blanca se obtuvo con una dosis de 35 mg/L logrando 96,44% de remoción.

Tabla 2

Remoción de la dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscaras de papas

Turbidez inicial: 40 UNT pH inicial: 7,16									
Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Tratamiento 5			Tratamiento 6			Tratamiento 7		
	Dosis de almidón (mg/L)	Turbidez final (UNT)	Remoción (%)	Dosis de almidón (mg/L)	Turbidez final (UNT)	Remoción (%)	Dosis de almidón (mg/L)	Turbidez final (UNT)	Remoción (%)
35		2,56	93,6		2,34	94,15		2,63	93,43
35	35	1,44	96,41	30	1,35	96,63	35	1,42	96,44
32,5	35	1,44	96,4	30	1,52	96,19	35	2,8	93
30	35	1,3	96,74	30	1,01	97,48	35	1,45	96,38
27,5	35	1,55	96,12	30	1,08	97,31	35	1,59	96,02
25	35	1,69	95,78	30	1,27	96,83	35	1,71	95,73
22,5	35	1,76	95,61	30	1,46	96,35	35	1,74	95,64
20	35	1,64	95,89	30	1,42	96,46	35	2,16	94,6
17,5	35	1,67	95,83	30	1,51	96,22	35	2,71	93,23

Tratamiento 5: Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara imilla negra. **Tratamiento 6:** Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara roja. **Tratamiento 7:** Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara blanca.

3.9. Análisis estadístico, prueba de Dunnet

Los tratamientos T2 y T3 no tienen diferencia significativa, con porcentajes de remoción promedio de 97,05 y 97,22%. Sin embargo, existe una diferencia significativa con el tratamiento T1 (tabla 3).

Tabla 3

Efecto de remoción de turbidez utilizando la prueba Dunnet

Tratamiento	Media	N	Desv. Desviación	Error estándar de la media
T1	91,05 ^c	9	4,81429	1,60476
T2	97,05 ^a	9	0,52851	0,17617
T3	97,22 ^a	9	0,54475	0,18158
T4	94,69 ^b	9	1,08304	0,36101
T5	95,82 ^b	9	0,90958	0,30319
T6	96,40 ^b	9	0,95855	0,31952
T7	94,94 ^b	9	1,40327	0,46776
Total	95,31	63	2,75331	0,34688

T1: Sulfato de aluminio. **T2:** Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa imilla negra. **T3:** Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa roja. **T4:** Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa blanca. **T5:** Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa imilla negra. **T6:** Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa roja. **T7:** Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa blanca. Nota: Letras iguales de a, b y c indican diferencias no significativas ($p < 0,05$ prueba de Dunnet).

4. Discusión

La dosis óptima del sulfato de aluminio fue de 35 mg/L. De esto se deduce que una baja dosis de coagulante no desestabiliza las partículas, obteniendo valores elevados de turbiedad, por el contrario, una dosis elevada provoca una inversión en la carga de la partícula, reportando de igual forma valores elevados de turbiedad (Andía, 2000). Por su parte Schwarz (2000) menciona que para turbiedades menores a 50 UNT la dosis óptima se encuentra entre 10 a 50 mg/L. Además, se hace mención de que éste es el reactivo más utilizado en las plantas de tratamiento para los procesos de coagulación y floculación (Andía, 2000). El sulfato de aluminio actúa de manera eficaz a una concentración óptima de 1%, resultado coincidente con lo recomendado por CEPIS (2004) para proyectos. Tito et al. (2020) trabajaron con esta misma

concentración en su estudio de almidón de tres variedades de papa (imilla negra, ccompis y sani imilla) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano. El pH natural registró mejores resultados, esto corrobora el trabajo de Aguilar (2010) que sugiere que un pH natural del agua mejora los resultados de coagulación-floculación. Por otra parte, Zemmouri et al. (2011) determinaron que los rangos próximos a pH neutro son óptimos en el tratamiento. Cabrera et al. (2009) llegaron a concluir que es conveniente realizar pruebas de coagulación-floculación con pH cercanos a la neutralidad. Por último Aguilar (2010) menciona que para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6,5 – 8,0.

El almidón de cáscara imilla negra reportó una turbidez de 0,90 UNT, similar a lo registrado por Valeriano & Matos (2019), en su estudio de la goma de tara y sulfato de aluminio, donde obtuvieron menores a 1 UNT de turbidez final, de igual forma Camacho et al. (2020), en su investigación de cáscara de papa y el sulfato de aluminio registraron resultados menores a 5 UNT. La papa roja logró menores a 1 UNT de turbidez final, al igual que Shahriari et al. (2011), empleando el plantago ovata y cloruro férrico, obtuvieron una alta remoción menores a 1 UNT, por el contrario Chalco (2016), adquirió resultados superiores de 5,92 UNT de turbidez final al emplear la variedad de papa canchan o roja como ayudante del sulfato de aluminio. Así mismo la papa roja obtuvo un 97,87% de remoción, igual al porcentaje registrado por Carrasquero et al. (2017), quienes lograron un 97,8% de remoción de turbidez al usar residuos de cáscara de papa y plátano. La variedad papa blanca obtuvo una turbidez menor a 5 UNT, igual a Laines et al. (2008). Se menciona también que este tratamiento logró 95,71% de remoción superior a lo adquirido por Barbarán et al. (2017) quienes lograron un 92,95% de remoción al usar semillas de durazno y palta. Por su parte Solís et al. (2012) trabajando con mezcla de almidón de yuca y sulfato de aluminio, logró porcentajes superiores de 97,9%.

Según Tester et al. (2004) la eficiencia de remoción de la turbidez con la ayuda de las cáscaras de papas se debe a que almidón contiene la mezcla de dos polisacáridos: Un polímero

lineal (amilosa) y un polímero ramificado no soluble (amilopectina). Ambos están formados por unidades de glucosa. En adelante Melian (2010) afirma que, la amilosa es quien se encarga de adherirse a las partículas coloidales y de tal forma generan flóculos más grandes, los cuales al incrementar su masa y sedimentarse hacen una mayor remoción de turbidez. Se hace mención también que este estudio se trabajó con el mecanismo de coagulación por barrido (baja turbiedad), mediante la formación y posterior precipitación de hidróxidos de aluminio. Además, este mecanismo puede arrastrar los coloides como materia orgánica natural (Letterman,1999).

Cuando se utilizó la dosis ajustada del sulfato de aluminio a un 50% junto a la dosis de las variedades de papa, la turbidez final de los 9 tratamientos estudiados se encontraro dentro del LMP (< 5 UNT). La variedad imilla negra logró una turbidez final 1,3 UNT. Esto contrasta con el resultado obtenido de Tito Surco et al. (2020) quienes lograron un resultado similar en su estudio de 3 variedades de papa (imilla negra, ccompis y sani imilla) junto al sulfato de aluminio. Así mismo, con este tratamiento se consiguió una reducción de 14% de sulfato de aluminio. Respecto a la variedad roja se consiguió una turbidez promedio de 1,01 UNT semejante a Alvarado (2011), quien al emplear cáscara de papa y sulfato de aluminio obtuvo resultados menores a 2 UNT. De igual forma con este tratamiento se logró reducir un 14% de sulfato de aluminio y con la variedad blanca, su resultado promedio de turbidez alcanzo 1,42 UNT con un porcentaje de 96,44%. Sin embargo, este tratamiento no logra reducir el coagulante químico, ya que requiere el 100% de su dosis óptima para llegar a dicho porcentaje. Es importante resaltar que al reducir al 50% el coagulante químico no siempre se obtienen mejores resultados puede existir casos en donde no suceda, tal como en la papa blanca, pero deben analizarse ambas, a fin de constatar cual es la secuencia más apropiada al igual que describe el CEPIS que para obtener la combinación más económica del coagulante químico con el ayudante de floculación, se debe reducir la dosis óptima del sulfato de aluminio a un diferente porcentaje hasta encontrar la mejor.

5. Conclusiones

La cascara de las tres variedades de papa (imilla negra, roja y blanca) resultaron ser factibles como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio.

La variedad roja actuó con mayor eficacia que las cáscaras de imilla negra y blanca en la remoción de turbidez de agua, reportando una turbidez final de 0.85 UNT representando a un 97.87% de remoción.

Para la prueba de Dunnet no hay diferencia significativa para las cáscaras de la papa Imilla y papa roja como ayudantes de coagulación del sulfato de aluminio.

Referencias

- Aguilar Ascón, E. A. (2010). *Utilización de las semillas de Tara (Caesalpinia Spinoza) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas*. Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/495>
- Alvarado Carmona, N. L. (2011). *Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas Potables de la Planta "la Diana".*
- Andía Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua Coagulación y Floculación*.
- Barbarán Silva, H., López Chávez, J., & Chico Ruíz, J. (2017). Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*Prunus persica*) y palta (*Persea americana*). *SAGASTEGUIANA*, 5(1), 7–16.
- Barrenechea, A. (2004). Capítulo 4 Coagulación. In SEDAPAL (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano*.
- Bravo Gallardo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Broncano Castillo, L. E., & Rosario Cacha, N. P. (2017). *Eficiencia del Tropaeolum tuberosum y la cáscara de Solanum tuberosum como coagulante para la remoción de turbiedad, color y sólidos disueltos, en el Rio Lullán, provincia de Caraz, Ancash-2016*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Moyolo.

- Cabrera Bermúdez, X., Ramírez Fleites, M., & Moya Contreras, A. (2009). Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil “Desembarco del Granma” a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, 29(3), 64–73. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760009>
- Camacho Oviedo, H., Campos Núñez, D., Mercado Martínez, I., Cubillán Acosta, N., & Castellar Ortega, G. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación e Innovación En Ingenierías*, 100–111. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>
- Carrasquero, S. J., Montiel Flores, S., Faría Perche, E. D., Parra Ferrer, P. M., Marin Leal, J. C., & Díaz Montiel, A. R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90–99. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>
- CEPIS. (2004). Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. In *Tratamiento de agua para consumo humano: Vol. I*.
- Chalco Flores, M. H. (2016). *Determinación 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*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262.
- Jiménez, D., & Vladimir, B. (2015). *Estudio y evaluación del almidón de maíz como alternativa natural en el proceso de coagulación de agua para consumo humano*. Sired.Udenar.Edu.Co. <https://sired.udenar.edu.co/1123/>
- Laines Cenepa, J. R., Goñi Arévalo, J. A., Adams Schroeder, R. H., & Camacho Chiu, W. (2007). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *ResearchGate*, 33(1). <https://www.researchgate.net/publication/46406263>
- Letterman, R. D. (1999). *Water quality and treatment : a handbook of community water supplies*. McGraw-Hill.
- Melian Subiabre, D. E. (2010). *Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de chiloé y dos variedades comerciales*. Universidad Austral de Chile.
- Miller, S. M., Fugate, E. J., Craver, V. O., Smith, J. A., & Zimmerman, J. B. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for

- potential application in water treatment. *Environmental Science and Technology*, 42(12), 4274–4279. <https://doi.org/10.1021/es7025054>
- MINAGRI. (2017). *Boletín estadístico de medios de producción agropecuarios*.
- Schwarz, D. (2000). *Water Clarification using Moringa oleifera* Gate Information Service.
- Shahriari, T., Bidhendi, N., & Shahriari, S. (2011). Evaluación de la eficiencia de Plantago Ovata y almidón en la eliminación de la turbidez del agua. *J. Medio Ambiente. Res*, 6(1), 259–264. www.onlinedoctranslator.com
- Solís Silvan, R., Lianes Cenepa, J. R., & Hernández Barajas, J. R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151–165. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2003.12.001>
- Tito Surco, R. M., Vigo Rivera, J. E., & Callata Chura, R. A. (2020). 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. *Revista Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 35–45. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/index
- Trejo Vázquez, R., & Hernández Montoya, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, 25. <http://www.nutritionfoundationofindia.org/ARCH>
- Valeriano-Mamani, J. J., & Matos-Chamorro, R. A. (2019). Influencia de la Goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) como Ayudante en el Proceso de Coagulación-Floculación para la Remoción de Turbidez de una Suspensión Artificial de Bentonita. *Informacion Tecnologica*, 30(5), 299–308. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500299>
- Vilavila Morales, S. B. (2018). *Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero de goma de Tara - Puno, 2018*. Universidad Peruana Unión.
- Zemmouri, H., Kadouche, S., Lounici, H., Hadioui, M., & Mameri, N. (2011). Use of chitosan in coagulation flocculation of rawwater of Keddara and Beni Amrane dams. *Water Science and Technology: Water Supply*, 11(2), 202–210. <https://doi.org/10.2166/ws.2011.038>

Anexos

Anexo 1: Determinación de dosis óptima del Tratamiento 1

Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Tratamiento 1							
	Turbidez final (UNT)				pH final			
	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
10	9,8	7,1	8,4	8,43	6,96	6,92	6,96	6,95
15	2,7	4,06	5,13	3,96	6,96	6,99	6,95	6,97
20	2,84	2,82	3,91	3,19	6,96	6,93	6,92	6,94
25	6,94	2,52	2,59	4,02	6,91	6,92	6,92	6,92
30	2,8	2,58	2,87	2,75	6,86	6,72	6,87	6,82
35	2,13	2,47	2,47	2,36	6,86	6,85	6,92	6,88
40	3,26	2,43	1,78	2,49	6,95	6,94	6,91	6,93
45	2,4	2,14	3,04	2,53	6,92	6,89	6,97	6,93
50	2,32	2,56	2,59	2,49	6,9	6,9	6,8	6,87

Tratamiento 1: Determinación de dosis óptima del sulfato de aluminio. R1, R2, R3 Repeticiones de pruebas.

Anexo 2: Concentración óptima del sulfato de aluminio.

Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Concentración del sulfato de aluminio (%)	Concentración óptima del sulfato de aluminio (mg/L)				
		R1	R2	R3	R4	R5
35	0,5	0,98	1,21	1,49	1,32	1,1
35	1	0,83	1,01	1,44	1,14	0,79
35	2	0,91	1,09	1,23	1,25	1,29
35	3	1,13	1,27	1,56	1,27	1,25
35	5	0,85	1,31	1,65	1,34	1,13
35	10	10,45	11,73	12,12	11,42	11,16

R1, R2, R3, R4, R5: Repeticiones de pruebas.

Anexo 3: pH óptimo del sulfato de aluminio.

Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	pH	pH óptimo del sulfato de aluminio					
		R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
35	6,5	13,34	10,45	11,13	12,95	12,92	12,16
35	7	1,38	1,18	1,68	1,63	1,12	1,4
35	natural	0,94	1,05	1,18	1,43	0,97	1,11
35	7,5	1,35	1,52	1,38	1,24	0,97	1,29
35	8	1,46	1,17	1,51	1,37	1,5	1,4
35	8,5	2,35	1,73	1,28	1,1	1,01	1,49

R1, R2, R3, R4, R5: Repeticiones de pruebas.

Anexo 4: Turbidez final (UNT) del tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3.

Tratamiento	Turbidez final (UNT)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
T2	1,48	0,91	0,91	1,05	1,1	0,76	1,52	1,25	1,58
	1,02	0,84	1,16	1,1	1,06	0,96	1,97	1,18	1,82
	1,99	1,15	0,94	0,99	1,03	1,04	1,6	1,07	1,09
	1,12	1,17	1,27	1,21	0,85	0,78	1,63	1,2	1,03
	1,21	1,05	0,96	1,41	1,14	0,98	1,14	1,13	1,28
Promedio	1,36	1,02	1,05	1,15	1,04	0,9	1,57	1,17	1,36
T3	1,13	1,15	1,12	1,05	0,74	0,67	0,84	2,55	1,58
	1,13	1,24	1,39	0,88	0,99	1	0,79	1,27	1,36
	0,99	1,18	0,96	0,92	0,77	0,98	0,88	1,23	1,58
	0,77	0,85	1,24	1,38	0,92	0,93	0,83	1,08	1,24
	2,6	1,24	0,48	0,88	0,84	0,8	1,5	1,1	1,1
Promedio	1,32	1,13	1,04	1,02	0,85	0,88	0,97	1,45	1,37
T4	2,17	1,85	1,79	1,68	1,78	1,56	1,99	1,77	3,13
	1,93	1,89	1,97	1,85	1,77	1,66	2,11	2,37	2,4
	1,76	1,57	1,94	1,65	1,93	1,89	2,5	2,13	2,69
	1,85	1,62	1,77	1,68	1,95	1,41	2,69	2,43	2,62
	2,05	1,92	2,46	2,1	2,26	2,06	3,5	3,46	4,06
Promedio	1,95	1,77	1,99	1,79	1,94	1,72	2,56	2,43	2,98

T2: Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa imilla negra. **T3:** Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa roja. **T4:** Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa blanca. **Dosis:** 10,15,20,25,30,35,40,45,50.

Anexo 5: pH final del tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento

Tratamiento	pH final								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
T2	6,95	6,95	6,96	6,98	6,95	6,96	7,08	6,95	6,85
	7,05	6,95	6,95	6,92	6,95	6,98	7,03	6,91	6,88
	7,02	7,03	7	6,98	6,98	6,97	7,04	6,92	6,88
	7	6,95	6,95	6,97	7	6,95	7,02	6,92	6,9
	6,89	6,91	6,93	6,95	6,95	6,96	7,02	6,93	6,88
Promedio	6,98	6,96	6,96	6,96	6,97	6,96	7,04	6,93	6,88
T3	6,88	6,85	6,88	6,9	6,92	6,94	7,1	6,92	6,85
	6,88	6,88	6,9	6,91	6,92	6,95	7,05	6,92	6,92
	6,86	6,89	6,92	6,92	6,97	6,93	7,07	6,95	7,28
	6,93	6,93	6,93	6,9	6,86	6,77	7,03	6,98	6,91
	6,91	6,91	6,95	6,95	6,98	6,98	7,03	6,98	6,98
Promedio	6,89	6,89	6,92	6,92	6,93	6,91	7,06	6,95	6,99
T4	6,88	6,85	6,88	6,9	6,92	6,94	7,1	6,92	6,85
	6,88	6,88	6,9	6,91	6,92	6,95	7,05	6,92	6,92
	6,86	6,89	6,92	6,92	6,97	6,93	7,07	6,95	7,28
	6,93	6,93	6,93	6,9	6,86	6,77	7,03	6,98	6,91
	6,91	6,91	6,95	6,95	6,98	6,98	7,03	6,98	6,98
Promedio	6,89	6,89	6,92	6,92	6,93	6,91	7,06	6,95	6,99

T2: Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa imilla negra. **T3:** Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa roja. **T4:** Sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa blanca. **Dosis:** 10,15,20,25,30,35,40,45,50.

Anexo 6: Turbidez final (UNT) del tratamiento 5, tratamiento 6 y tratamiento 7

Tratamiento	Turbidez final (UNT)								
	35	35	32,5	30	27,5	25	22,5	20	17,5
T5	2,39	1,42	1,42	1,15	1,45	1,38	1,61	1,59	1,56
	2,58	1,6	1,57	1,27	1,64	2,06	1,69	1,78	1,6
	2,72	1,29	1,33	1,49	1,57	1,63	1,97	1,56	1,84
Promedio	2,56	1,44	1,44	1,3	1,55	1,69	1,76	1,64	1,67
	2,26	1,37	1,5	1	1,21	1,43	1,7	1,53	1,37
T6	2,45	1,48	1,7	0,98	0,95	0,97	1,24	1,13	1,42
	2,31	1,19	1,37	1,05	1,07	1,4	1,44	1,59	1,75
	2,34	1,35	1,52	1,01	1,08	1,27	1,46	1,42	1,51
Promedio	2,37	1,34	1,21	0,96	1,37	1,11	1,06	1,65	2,75
	2,64	1,54	1,69	1,51	1,68	1,66	1,8	1,73	2,68
T7	2,88	1,39	5,5	1,87	1,73	2,35	2,37	3,1	2,7
	2,63	1,42	2,8	1,45	1,59	1,71	1,74	2,16	2,71

T5: Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa imilla negra. **T6:** Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa roja. **T7:** Dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa blanca. <https://access.clarivate.com/login?app=wos>