

Residuos de papa como auxiliar del sulfato de aluminio para clarificación de agua

Lizbeth Ynofuente Quispe¹, Magali Flores Condori¹, Juan Eduardo Vigo Rivera¹

1. Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquiani, San Román, Perú; lizbeth.yq@upeu.edu.pe; magali.fc@upeu.edu.pe; eduardo.vigo@upeu.edu.pe

Recibido 1-VIII-2022 • Corregido 13-IX-2022 • Aceptado 16-IX-2022

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v14i2.4282>

ABSTRACT. “Potato residues as an aid to aluminum sulfate in water clarification”. **Introduction:** Aluminum sulfate, or iron salts, are used as coagulants to eliminate suspended particles that produce turbidity in water for human consumption, but the process can be improved with other components. **Objective:** To evaluate the use of potato peels as an aid to aluminum sulfate in water clarification. **Methodology:** We worked with a simulated sample of 40 UNT at 16°C with a pH of 7,16, and the CEPIS method to determine the optimal dose (7 treatments x 9 dosages factorial arrangement). **Results:** Aluminum sulfate + red potato peel, at 30mg/L produced the lowest turbidity (0,85 UNT at a pH of 6,99, with a removal efficiency of 98%. Aluminum sulfate + black *imilla* husk (35mg/L) produced a turbidity of 0,90 UNT, pH 6,96, 98% efficiency. **Conclusion:** *imilla* and red potato are useful as a coagulation aid for aluminum sulfate.

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

RESUMEN. Introducción: El sulfato de aluminio, o sales de hierro, se utilizan como coagulantes para eliminar las partículas en suspensión que producen turbidez en el agua de consumo humano, pero el proceso se puede mejorar con otros componentes. **Objetivo:** Evaluar el uso de la cáscara de papa como complemento del sulfato de aluminio en la clarificación de agua. **Metodología:** Usamos una muestra simulada de 40 UNT a 16°C con un pH de 7,16, y el método CEPIS para determinar la dosis óptima (7 tratamientos x 9 dosis, arreglo factorial). **Resultados:** El sulfato de aluminio + cáscara de papa roja, a 30mg/L produjo la turbidez más baja (0,85 UNT a un pH de 6,99, con una eficiencia de remoción del 98%. El sulfato de aluminio + cáscara de *imilla* negra (35mg/L) produjo una turbidez de 0,90 UNT, pH 6,96, 98% de eficiencia. **Conclusión:** La *imilla* y la papa roja son útiles como coadyuvantes de coagulación para el sulfato de aluminio.

Palabras clave: Almidón de cáscara de papa, coagulantes, floculación, dosis óptima, sulfato de aluminio, tratamiento de aguas, turbidez.

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), y 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 0,1mg/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), Ttito 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.

MATERIALES Y MÉTODOS

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, en condiciones controladas.

Selección de papa y obtención del almidón de la cáscara de papa: Se seleccionó tres variedades de papa (imilla negra, roja y blanca). Sihuas et al. (2017) manifiestan que alrededor de 4 000 variedades de papas se encuentran en el Perú entre las que se destacan en la Región Puno la papa imilla negra, papa roja y papa blanca (ver Fig.1). Para la obtención del almidón de la cáscara de papa se empleó la metodología propuesta por Camacho-Oviedo et al. (2020) el cual se describe a continuación. Primero se realizó la recolección de cáscara de papa de diferentes establecimientos de comida en la ciudad de Juliaca (Perú). Seguido se procedió a lavar las cáscaras de papa con abundante agua. Posteriormente se secó en un horno (BINDER FD 23) a una temperatura de 100°C por 24 horas. Luego se trituró en un molino (CORONA) hasta obtener gránulos pequeños. Por último, se pasó por un tamiz de 100µm. Finalmente se envasó y rotuló en frascos de vidrio.



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

Preparación de la solución del sulfato de aluminio: Preparación del sulfato de aluminio bajo la metodología Vargas (2004). En una balanza analítica (SARTORIUS) se pesó 100g de sulfato de aluminio tipo B, seguido a ello se disolvió en una fiola de 1000mL de agua destilada, obteniendo una solución al 10% que viene a ser la solución patrón. Luego se vierte 10mL de la solución patrón en una fiola de 100mL agregando agua destilada hasta aforar, agitar hasta obtener una solución homogénea de sulfato de aluminio al 1%.

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): En un vaso precipitado se pesó 10 g de almidón de cáscara de papa y disolvió en 1000mL de agua destilada, bajo agitación constante con una varilla de vidrio hasta lograr una solución homogénea de almidón al 10% que viene a ser la solución madre. Seguidamente se sacó 10mL de la solución madre en una fiola de 100mL agregando agua destilada hasta aforar, obteniendo una solución al 1%. Luego se sometió a calentamiento hasta 70°C el cual se conoce como gelatinización del almidón, donde los gránulos del almidón aumentan de volumen (hinchamiento) dando lugar a que la amilosa y la amilopectina actúen como auxiliares de coagulación (Chalco, 2016).

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.

Determinación de la dosis, concentración y pH óptimo del sulfato de aluminio: Se empleó la metodología propuesta por Vargas (2004) que se detalla a continuación; primeramente, se determinó la dosis óptima mediante el equipo de prueba de jarras, en este caso, marca VELP modelo JLT6 serie 35387, añadiendo dosis de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50mg/L de sulfato de aluminio de forma creciente para cada una de las jarras que contienen 1000mL de agua turbia. Posteriormente se colocaron en el equipo de prueba de jarras a una velocidad de 300rpm por 5 segundos, luego a 40rpm por 20 minutos y se dejaron sedimentar por otros 20 minutos. Después se prepararon soluciones a concentraciones de 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 y 10,0% de sulfato de aluminio. Para concluir se halló el pH óptimo preparando muestras con pH de 6,5; 7,0; 8,0; 8,5 y natural.

Determinación de la dosis óptima del sulfato de aluminio + almidones de cáscaras de papa: Siguiendo la metodología propuesta por Vargas (2004) se consideró como base la dosis óptima del sulfato de aluminio que fue 35mg/L, seguido a ello se prepararon dosis de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50mg/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.

Determinación de dosis ajustada del sulfato de aluminio: Se siguió la metodología propuesta por Vargas (2004), realizando nuevos ensayos disminuyendo la dosis óptima del sulfato de aluminio a dosis de 35,0; 35,0; 32,5; 30,0; 27,5; 25,0; 22,5; 20,0 y 17,5mg/L. Luego se adicionó almidón de cáscara de papa (imilla negra 35mg/L, blanca 35mg/L y roja 30mg/L) en cada uno de los vasos, excepto en el vaso 1 que se tomó como testigo.

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:

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

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 Statistics V28 y Excel.

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.

RESULTADOS

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



Fig. 2. Almidones de las cáscaras de papa (imilla negra, roja y blanca)

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

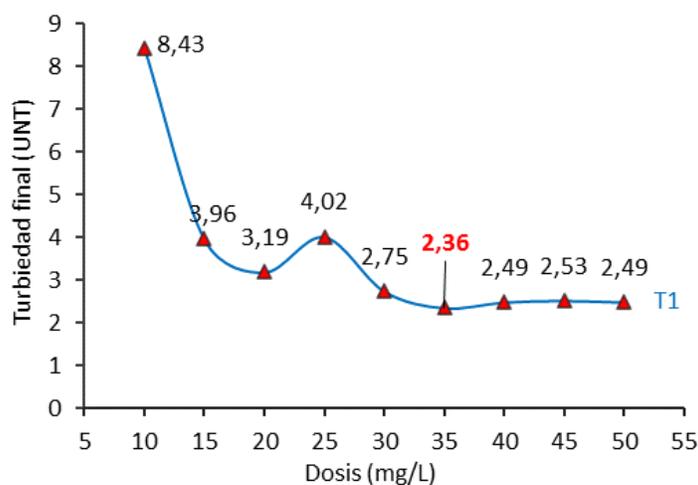


Fig. 3. Determinación de dosis óptima del sulfato de aluminio (T1)

Determinación de la concentración óptima del sulfato de aluminio: Se observó que de las seis concentraciones preparadas la óptima fue al 1% con una turbiedad final de 1,04 UNT (Fig. 4) y pH 6,94, se hace mención también, que la concentración preparada al 10% que viene a ser la solución patrón (Apéndice digital, TABLA 2), registró una turbidez final de 11,38 UNT con pH 5,14, cuyo resultado se encuentra fuera del Límite Máximo Permissible D.S. 031-2010-SA-MINSA.

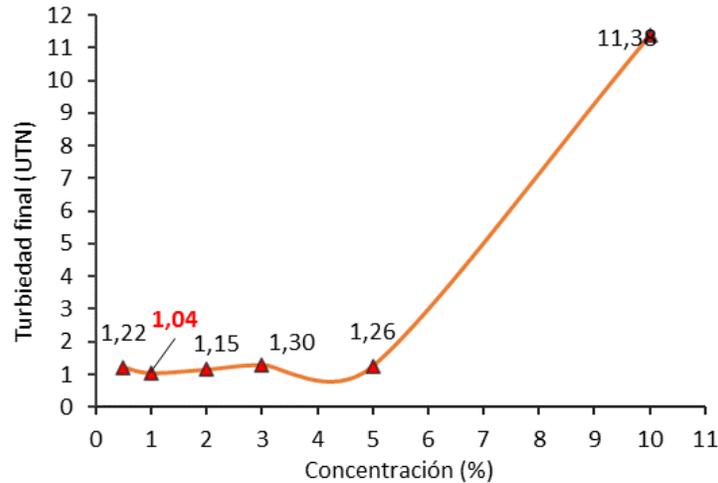


Fig.4. Concentración óptima del sulfato de aluminio

Determinación del pH óptimo del sulfato de aluminio: Con los valores de dosis y concentración se procedió a evaluar diferentes pH para encontrar su óptimo valor (Fig. 5), siendo el más eficiente el pH natural del agua, reportando una turbidez final de 1,11 UNT (Apéndice digital, TABLA 3).

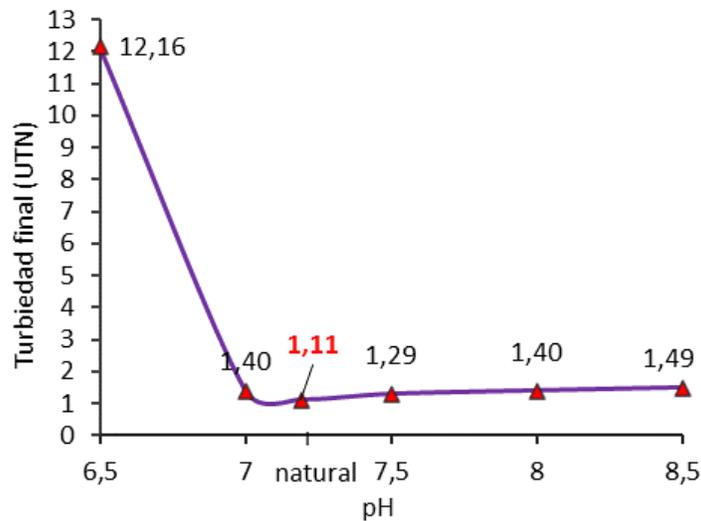


Fig.5. pH óptimo del sulfato de aluminio

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 (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 (Apéndice digital, TABLAS 4 y 5), optando trabajar con estos valores para los siguientes ensayos. Por último, todos los resultados obtenidos se encuentran dentro del Límite Máximo Permissible D.S. 031-2010-SA-MINSA (<5 UNT).

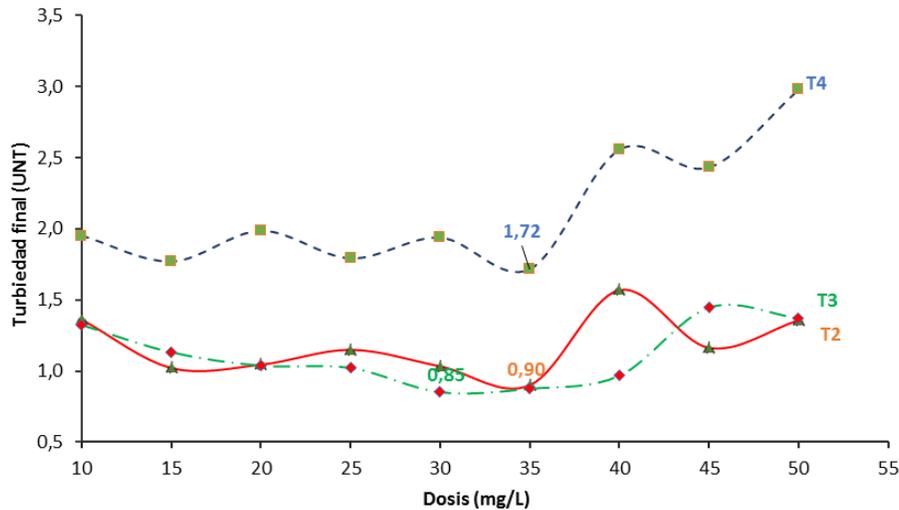


Fig.6. Determinación de la dosis óptima sulfato de aluminio con almidón de cáscara de papa variedad; imilla negra, roja y blanca

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) manteniendo igual la dosis optima del almidón; 35mg/L imilla negra y blanca, y 30mg/L para roja. Se hace mención que todos los resultados conseguidos se encuentran dentro del LMP (< 5 UNT).

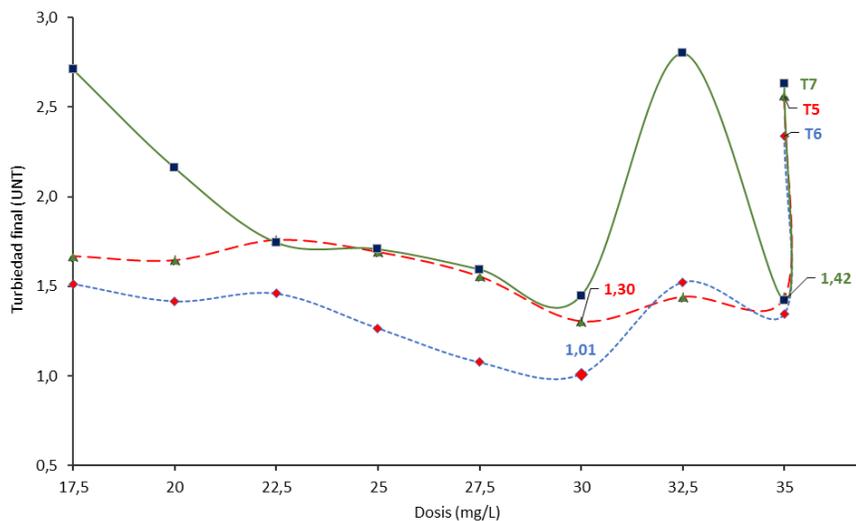


Fig.7. Determinación de la dosis ajustada del sulfato de aluminio + almidón de cáscara de papa variedad; imilla negra, roja y blanca

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 variedad como auxiliar del sulfato de aluminio para la clarificación de aguas.

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	0,90	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	96,60	1,37	96,57	2,98	92,55

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 30mg/L registró un porcentaje de remoción 96,74%. Sin embargo, para la variedad roja el mejor fue 30mg/L de sulfato de aluminio alcanzando un porcentaje de remoción del 97,48% y la variedad blanca se obtuvo con una dosis de 35mg/L con porcentaje de remoción 96,44%.

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	93,60		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	96,40	30	1,52	96,19	35	2,80	93,00
30	35	1,30	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	94,60
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.

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).

DISCUSIÓN

La dosis óptima del sulfato de aluminio fue de 35mg/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 50mg/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 Vargas (2004) para proyectos. Ttito 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 la 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. Los mejores resultados obtenidos de turbidez final en las diferencias pruebas realizadas registraron pH final de 6,5 a 7,0, Aquí influye la turbidez inicial del agua con la que se trabajó, temperatura y dosis del sulfato de aluminio.

El almidón de cáscara imilla negra reportó una turbidez de 0,90 UNT, similar a lo registrado por Valeriano-Mamani & Matos-Chamorro (2019), en su estudio de la goma de tara y sulfato de aluminio, donde obtuvieron valores menores a 1UNT de turbidez final, de igual forma, Camacho-Oviedo et al. (2020), en su investigación de cáscara de papa y el sulfato de aluminio registraron resultados menores a 5UNT. La papa roja logró valores menores a 1UNT de turbidez final, al igual que Shahriari et al. (2012), empleando el plantago ovata y cloruro férrico, obtuvieron una alta remoción menores a 1UNT, por el contrario Chalco (2016), adquirió resultados superiores de 5,92UNT de turbidez final al emplear la variedad de papa chancan 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 5UNT, igual a Laines et al. (2008). Se menciona también que este tratamiento logró 95,71% de remoción superior a lo adquirido por Barbarán-Silva 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%. De acuerdo a los resultados se deduce que el almidón de cascara de papa (imilla negra, roja y blanca) son factibles como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio.

Según Tester et al. (2004) la eficiencia de remoción de la turbidez con la ayuda de las cáscaras de papas se debe a que el 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 encontraron dentro del LMP (< 5UNT). La variedad imilla negra logró una turbidez final 1,3UNT. Esto contrasta con el resultado obtenido de Ttito 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 1,01UNT semejante a Alvarado (2012), quien al emplear cáscara de papa y sulfato de aluminio obtuvo resultados menores a 2UNT. 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 alcanzó 1,42UNT 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, así como lo describe el CEPIS, 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 diferentes porcentajes hasta encontrar la mejor.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo forma parte de una tesis Ingeniero Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión-Filial Juliaca, Perú.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la preparación de este documento; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, estamos de acuerdo con la versión editada final de esta publicación. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de contribución de cada autor es la siguiente: L.Y.Q. y M.F.C.: Diseño del estudio, análisis de datos, preparación del manuscrito. J.E.V.R.: Revisión, corrección y aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Aguilar, E. A. (2010). *Utilización de las semillas de Tara (Caesalpinia Spinoza) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Alvarado, L. (2012). Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la planta "La Diana". *Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales*, 6, 115-121. <https://doi.org/10.22490/25394088.1115>
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación*. Documento Técnico. Planta de Tratamiento de Agua SEDAPAL. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- 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). Coagulación. En L. de Vargas, (Ed.), *Manual I: Teoría Tomo I: Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida* (pp. 151-224). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS/OPS).
- Bravo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://bit.ly/3UIEJv8>
- Broncano, L. E., & Rosario, 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 Río Lullán, provincia de Caraz, Ancash-2016*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Moyolo].
- Cabrera, X., Fleites, M., & 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. <https://bit.ly/39dPfrl>
- 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*, 8(1) 100-111. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>
- Carrasquero, S. J., Montiel, S., Faría, E. D., Parra, P. M., Marin, J. C., & Díaz, 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>
- Chalco, 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*. [Tesis de Licenciatura, 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. *Revista 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*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto] <https://bit.ly/3trsg33>
- Laines, J. R., Goñi, J. A., Adams, R. H., & Camacho, W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 33(1), 22–28. <https://bit.ly/3toqXBY>
- Letterman, R. D. (1999). *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. McGraw-Hill.
- Melian, 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*. [Tesis de Licenciatura, 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>
- Schwarz, D. (2000). *Water Clarification using Moringa oleifera* Gate Information Service. <https://bit.ly/2DwsDPd>
- Shahriari, T., Nabi, G., & Shahriari, S. (2012). Evaluating the Efficiency of Plantago Ovata and Starch in Water turbidity removal. *International Journal of Environmental Research*, 6(1), 259–264.
- Sihuas, A., Orellano, J., & Rojas, J. (2017). *Boletín estadístico de medios de producción agropecuarios IV trimestre*. <https://bit.ly/3gFguPf>
- Solís, R., Lianes, J. R., & Hernández, J. R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3), 229–236.

- 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>
- Ttito, R. M., Vigo, J. E., & Callata, 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://doi.org/10.17162/rictd.v6i2.1456>
- Trejo, R., & Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, (25). <https://bit.ly/3O74u4b>
- 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 Tecnológica*, 30(5), 299–308. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500299>
- Vargas, L. (2004). Capítulo 11: Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros Óptimos de las unidades. En L. Vargas (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I* (pp. 215-265). CEPIS/OPS.
- Vilavila, 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*. [Tesis de Licenciatura, 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>

APÉNDICE DIGITAL

TABLA 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	
10	9,8	7,1	8,4	8,43	6,96	6,92	6,96	
15	2,7	4,06	5,13	3,96	6,96	6,99	6,95	
20	2,84	2,82	3,91	3,19	6,96	6,93	6,92	
25	6,94	2,52	2,59	4,02	6,91	6,92	6,92	
30	2,8	2,58	2,87	2,75	6,86	6,72	6,87	
35	2,13	2,47	2,47	2,36	6,86	6,85	6,92	
40	3,26	2,43	1,78	2,49	6,95	6,94	6,91	
45	2,4	2,14	3,04	2,53	6,92	6,89	6,97	
50	2,32	2,56	2,59	2,49	6,9	6,9	6,8	

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

TABLA 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.

TABLA 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
35	6,5	13,34	10,45	11,13	12,95	12,92
35	7	1,38	1,18	1,68	1,63	1,12
35	natural	0,94	1,05	1,18	1,43	0,97
35	7,5	1,35	1,52	1,38	1,24	0,97
35	8	1,46	1,17	1,51	1,37	1,5
35	8,5	2,35	1,73	1,28	1,1	1,01

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

TABLA 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	1,10	0,76	1,52	1,25	1,58
	1,02	0,84	1,16	1,10	1,06	0,96	1,97	1,18	1,82
	1,99	1,15	0,94	0,99	1,03	1,04	1,60	1,07	1,09
	1,12	1,17	1,27	1,21	0,85	0,78	1,63	1,20	1,03
	1,21	1,05	0,96	1,41	1,14	0,98	1,14	1,13	1,28
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	1,00	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
	2,60	1,24	0,48	0,88	0,84	0,80	1,50	1,10	1,10
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	2,40
	1,76	1,57	1,94	1,65	1,93	1,89	2,50	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	2,10	2,26	2,06	3,50	3,46	4,06

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.

TABLA 5
pH final del tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3

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	7,00	6,98	6,98	6,97	7,04	6,92	6,88
	7,00	6,95	6,95	6,97	7,00	6,95	7,02	6,92	6,90
	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	6,90	6,92	6,94	7,10	6,92	6,85
	6,88	6,88	6,90	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	6,90	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	6,90	6,92	6,94	7,10	6,92	6,85
	6,88	6,88	6,90	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	6,90	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.

TABLA 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	1,60	1,57	1,27	1,64	2,06	1,69	1,78	1,60
	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	1,30	1,55	1,69	1,76	1,64	1,67
T6	2,26	1,37	1,50	1,00	1,21	1,43	1,70	1,53	1,37
	2,45	1,48	1,70	0,98	0,95	0,97	1,24	1,13	1,42
	2,31	1,19	1,37	1,05	1,07	1,40	1,44	1,59	1,75
Promedio	2,34	1,35	1,52	1,01	1,08	1,27	1,46	1,42	1,51
T7	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	1,80	1,73	2,68
	2,88	1,39	5,50	1,87	1,73	2,35	2,37	3,10	2,70
Promedio	2,63	1,42	2,80	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.