

Prunus persica as a complement to Aluminum sulfate in the removal of turbidity present in surface waters of the Moche River - Trujillo, 2019

Gianfranco Jakob Acosta-Espino, Environmental Engineer¹, Luis Enrique Alva-Diaz, Master of Business Administration², Erick Manuel Domínguez-Genovez, Environmental Engineer¹

¹Universidad Privada del Norte, Perú, gianjakob@gmail.com, dominguez.genovez18@gmail.com

²Universidad Privada del Norte, Perú, enrique.alva@upn.pe

Abstract — *The objective of this research was to determine the effectiveness of *Prunus persica* (peach seed) as a complement to Aluminum Sulfate in the removal of turbidity present in surface waters of the Moche River - Trujillo, 2019. For the methodology, first a characterization of the surface water samples taken at the "RMoch1" monitoring point, where the physical parameters of temperature, pH, conductivity, turbidity, and alkalinity were analyzed. Then, 2 jar tests were developed. In test No. 1, only artificial coagulant based on Aluminum Sulfate was added; While in test No. 2, a percentage distribution of 60.00% Aluminum Sulfate plus 40.00% natural coagulant based on *Prunus persica* (peach seed) was obtained. Likewise, the result was obtained for each jar –numbered from 1 to 6– in test No. 1: 0.00%; 94.69%; 97.72%; 98.63%; 98.97% and 99.48%, respectively; and for each jar in test No. 2: 0.00%; 80.26%; 93.65%; 95.37%; 96.08% and 96.7575%, respectively. Finally, it is concluded that the efficacy of *Prunus persica* (peach seed) is not significant as a complement to Aluminum Sulfate in the removal of turbidity present in surface waters of the Moche River - Trujillo, 2019; despite having finally obtained a removal percentage of 96.75%, in the second jar test. This is demonstrated through the t-Student test, where the "P" value was 0.8439 ($p > 0.05$) with a confidence level of 95.00%.*

Keywords — *Natural coagulants, peach seed, aluminum sulfate, turbidity removal, optimal dosage.*

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.738>
ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-639

Prunus persica como complemento del Sulfato de aluminio en la remoción de la turbiedad presente en aguas superficiales del río Moche – Trujillo, 2019

Gianfranco Jakob Acosta-Espino, Ingeniero Ambiental¹, Luis Enrique Alva-Diaz, Mag. en Administración de Empresas², Erick Manuel Domínguez-Genovez, Ingeniero Ambiental¹

¹Universidad Privada del Norte, Perú, gianjakob@gmail.com, dominguez.genovez18@gmail.com

²Universidad Privada del Norte, Perú, enrique.alva@upn.pe

Resumen — *La presente investigación tuvo como objetivo determinar la eficacia de la Prunus persica (semilla de durazno) como complemento del Sulfato de aluminio en la remoción de la turbiedad presente en aguas superficiales del río Moche – Trujillo, 2019. Para la metodología, primero se realizó una caracterización de las muestras de agua superficial tomadas en el punto de monitoreo “RMoch1”, donde se analizaron los parámetros físicos de temperatura, pH, conductividad, turbiedad y alcalinidad. Luego, se desarrollaron 2 pruebas de jarras. En la prueba N° 1, solo se adicionó coagulante artificial a base de Sulfato de aluminio; mientras que en la prueba N° 2, se utilizó una distribución porcentual de 60.00% Sulfato de aluminio más 40.00% coagulante natural a base de Prunus persica (semilla de durazno). Asimismo, se obtuvo como resultado para cada jarra –enumerada del 1 al 6– en la prueba N° 1: 0.00%; 94.69%; 97.72%; 98.63%; 98.97% y 99.48%, respectivamente; y para cada jarra en la prueba N° 2: 0.00%; 80.26%; 93.65%; 95.37%; 96.08% y 96.75%, respectivamente. Por último, se concluye que la eficacia de la Prunus persica (semilla de durazno) no es significativa como complemento del Sulfato de aluminio en la remoción de la turbiedad presente en aguas superficiales del río Moche – Trujillo, 2019; a pesar de haber obtenido finalmente un porcentaje de remoción de 96.75%, en la segunda prueba de jarras. Esto se demuestra a través de la prueba t-Student, donde el valor “P” fue de 0.8439 ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95.00%.*

Palabras clave — *Coagulantes naturales, semilla de durazno, sulfato de aluminio, remoción de turbiedad, dosis óptima.*

Abstract — *The objective of this research was to determine the effectiveness of Prunus persica (peach seed) as a complement to Aluminum sulfate in the removal of turbidity present in surface waters of the Moche River- Trujillo, 2019. For the methodology, first a characterization of the surface water samples taken at the “RMoch1” monitoring point, where the physical parameters of temperature, pH, conductivity, turbidity, and alkalinity were analyzed. Then, 2 jar tests were developed. In test No. 1, only artificial coagulant based on Aluminum Sulfate was added; While in test No. 2, a percentage distribution of 60.00% Aluminum Sulfate plus 40.00% natural coagulant based on Prunus persica (peach seed) was obtained. Likewise, the result was obtained for each jar – numbered from 1 to 6 – in test No. 1: 0.00%; 94.69%; 97.72%; 98.63%; 98.97% and 99.48%, respectively; and for each jar in test No. 2: 0.00%; 80.26%; 93.65%; 95.37%; 96.08% and 96.75%, respectively. Finally, it is concluded that the efficacy of Prunus persica (peach seed) is not significant as a complement to Aluminum Sulfate in the removal of turbidity present in surface waters of the Moche River - Trujillo, 2019; despite having finally obtained a*

removal percentage of 96.75%, in the second jar test. This is demonstrated through the t-Student test, where the “P” value was 0.8439 ($p > 0.05$) with a confidence level of 95.00%.

Keywords — *Natural coagulants, peach seed, aluminum sulfate, turbidity removal, optimal dosage.*

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para que las personas, animales y plantas puedan vivir. Además, si se habla en el caso de las personas, la obtención o captación de este recurso puede llegar a ser fundamental para los fines que se le piense dar. Por lo tanto, la fuente hídrica, de donde se abastecerá una comunidad, debe ser caracterizada de la forma más completa posible y conforme a la normativa de uso de agua destinada al consumo humano [1]. Sin embargo, las aguas naturales raramente son de calidad satisfactoria para el consumo o el uso industrial y casi siempre deben ser tratadas [2]. Asimismo, los recursos hídricos del planeta están sometidos a contaminación física, química y/o biológica. El avance de la actividad humana (industria, agricultura, ganadería, entre otras), el crecimiento demográfico, el desarrollo urbano y la falta de medidas y programas para dar respuesta a dichos cambios, genera un ambiente que favorece al avance de la contaminación [3].

De esta manera, la contaminación aumentó en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina, entre 1990 y 2010, por lo que cientos de millones de personas se encuentran en riesgo de contraer enfermedades que pueden ser letales; entre ellas, el cólera, que es una enfermedad transmitida por cuerpos de agua contaminados según alerta la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Asimismo, en Colombia, las fuentes hídricas se han visto afectadas a causa de la contaminación de las aguas superficiales, la incorporación de elementos extraños (de naturaleza física, química o biológica), los cuales hacen inútil o riesgoso su uso (humano, vida acuática, recreación, riego, industria, energía, transporte) [4]. Por otro lado, la región hidrográfica del Pacífico sometida al mayor número de fuentes contaminantes es la zona del Perú. Aquí se concentra la mayor densidad demográfica, el mayor número de pasivos ambientales antiguos (catastro minero), de vertimientos industriales y de zonas agrícolas [5].

La cuenca del Río Moche, ubicada en la región La Libertad, es actualmente una de las fuentes hídricas más afectadas por los vertimientos de empresas industriales y mineras. El deterioro de esta se ve influenciado por el incumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), que involucra la presencia de metales pesados (Ag, Hg, Cu, Pb, Cd, Fe); así como la alteración de la turbiedad, pH, alcalinidad, color, DBO, DQO, entre otros. Además, los metales como plomo, hierro y cadmio sobreponen sus límites máximos permisibles en un 94.00%, 51.00% y 100.00%, respectivamente, los cuales hacen que el agua no sea apta para el consumo humano [6].

Durante el proceso de clarificación de aguas superficiales, comúnmente se utilizan coagulantes inorgánicos y/o polímeros sintéticos para la reducción de sólidos suspendidos, bacterias y virus, entre otros microrganismos. En la actualidad, hay principalmente dos productos químicos que se utilizan para el proceso de coagulación en países en vías de desarrollo: el Sulfato de aluminio y el Cloruro férrico [7]. Sin embargo, puede ser fácilmente asimilado por el hombre, con potenciales consecuencias negativas a largo plazo. Sus efectos se asocian con varias formas de cáncer, Alzheimer y enfermedades óseas. Una concentración de aluminio superior a 0.10 mg/L en agua para consumo humano puede ser un factor de riesgo para la demencia, especialmente para el mal de Alzheimer. Además, el alumbre genera grandes cantidades de lodos que no pueden ser utilizados como biosólidos porque impactan negativamente los suelos y el agua debido a su ecotoxicidad [8].

Debido a las problemáticas descritas anteriormente se deben tomar medidas para descontaminar las aguas superficiales, siendo necesario la búsqueda de nuevas alternativas basadas en investigaciones sobre diversos sistemas de tratamiento de aguas que lo faciliten [3]. Una alternativa de solución que se menciona en estas es el uso de coagulantes naturales para la reducción de parámetros físicos que sobreponen los Estándares de Calidad Ambiental y/o Límites Máximo-Permisibles; en este caso, la utilización de la Prunus persica (semilla de durazno).

La presente investigación busca la utilización de nuevas tecnologías ecoeficientes que emplean coagulantes a base de materia orgánica con la finalidad de reemplazar a los coagulantes artificiales más utilizados, como el Cloruro férrico y Sulfato de aluminio, durante el proceso de coagulación y floculación. Además, propone otras alternativas de reutilización y aprovechamiento para las aguas superficiales ya tratadas. Por otro lado, servirá como base y/o fundamento para futuras investigaciones que se realicen con la iniciativa de encontrar soluciones medioambientales frente a problemas globales como la calidad del agua para el uso y consumo humano.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo de tipo experimental puro, ya que mide el efecto de las variables independientes sobre la dependiente. Asimismo, lleva un control o validez interna de la situación experimental. Es decir, a la utilización de las variables independientes, como “la Prunus persica” y “el Sulfato de aluminio”, se le aplicará un control directo con la finalidad de observar sus efectos en la variable dependiente “Remoción de la turbiedad”.

Además, para el diseño de investigación se utilizó un diseño factorial; debido a que se manipulan 2 o más variables independientes e incluyen 2 o más niveles o modalidades de presencia en cada una de las variables independientes. Asimismo, este tipo de diseño se utiliza muy frecuentemente en la investigación experimental [9].

En este caso, se evaluó 1 factor cualitativo y 4 factores cuantitativos. Entonces, dentro de los cualitativos, tenemos al tipo de coagulante con 2 niveles: compuesto orgánico –Prunus persica–; y compuesto químico –Sulfato de aluminio–. Por otro lado, dentro de los cuantitativos tenemos a la masa del coagulante (en gramos) con 2 niveles; la dosificación de ambos coagulantes (en mg/L) con 13 niveles; el tiempo de contacto (en minutos) con 4 niveles y la velocidad de agitación (en RPM) con 3 niveles. A continuación, las Tablas N° 1 y N° 2 muestran la síntesis del diseño de investigación para cada prueba.

TABLA N° 1
SÍNTESIS DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PRUEBA DE JARRAS N° 1

N° PRUEBA DE JARRAS	PREPARACIÓN	DOSIFICACIÓN			HOMOGENIZACIÓN		COAGULACIÓN		FLOCULACIÓN		SEDIMENTACIÓN		REMOCIÓN DE TURBIEDAD		
N° 1	Cantidad de $Al_2(SO_4)_3$ (g)	Cantidad de <i>Prunus persica</i> (g)	Concentración $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	Concentración <i>Prunus persica</i> (mg/L)	Concentración total (mg/L)	Velocidad de agitación (RPM)	Porcentaje de remoción (%)								
	JARRA N° 1	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	0.00	
	JARRA N° 2	2.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	94.69
	JARRA N° 3	2.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	97.72
	JARRA N° 4	2.00	0.00	15.00	0.00	15.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	98.63
	JARRA N° 5	2.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	98.97
	JARRA N° 6	2.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	99.48

TABLA N° 2
SÍNTESIS DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PRUEBA DE JARRAS N° 2

N° PRUEBA DE JARRAS	PREPARACIÓN	DOSIFICACIÓN			HOMOGENEIZACIÓN		COAGULACIÓN		FLOCLACIÓN		SEDIMENTACIÓN		REMOCIÓN DE TURBIEDAD		
N° DE JARRA		Cantidad de $Al_2(SO_4)_3$ (g)	Cantidad de <i>Prunus persica</i> (g)	Concentración $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	Concentración <i>Prunus persica</i> (mg/L)	Concentración total (mg/L)	Velocidad de agitación (RPM)	Tiempo de contacto (minutos)	Velocidad de agitación (RPM)	Tiempo de contacto (minutos)	Velocidad de agitación (RPM)	Tiempo de contacto (minutos)	Velocidad de agitación (RPM)	Tiempo de contacto (minutos)	Porcentaje de remoción (%)
N° 2	JARRA N° 1	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	0.00
	JARRA N° 2	2.00	2.00	3.00	2.00	5.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	80.26
	JARRA N° 3	2.00	2.00	6.00	4.00	10.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	93.65
	JARRA N° 4	2.00	2.00	9.00	6.00	15.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	95.37
	JARRA N° 5	2.00	2.00	12.00	8.00	20.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	96.08
	JARRA N° 6	2.00	2.00	15.00	10.00	25.00	0.00	2.00	100.00	1.00	40.00	8.00	0.00	15.00	96.75

Por lo tanto, se tienen 2 grupos: Prueba de Jarras N° 1 y Prueba de Jarras N° 2—con una repetición por cada prueba—, los cuales se encuentran diferenciados por el tipo de coagulante utilizado. Además, en cada prueba, se evaluaron 6 jarras a distintas concentraciones, las cuales fueron sometidas a diferentes tiempos de contacto y velocidades de agitación; dando como resultado 12 valores (6 por cada prueba) interpretados como porcentajes de remoción.

Asimismo, empleando la técnica de muestreo simple, se tomó como muestra 7 litros del agua superficial de la cuenca baja del río Moche, ubicada en la localidad de Trujillo. Además, la población fue representada como el total de aguas superficiales del río Moche ubicadas en la localidad de Trujillo, el día 14 del mes de octubre del año 2019. También, se emplearon materiales, equipos y reactivos para el desarrollo del experimento los cuales se mencionan más adelante en el texto.

Por otra parte, los procedimientos que se ejecutaron durante el desenvolvimiento del proyecto de investigación se describen a continuación.

A. Técnica de reconocimiento y ubicación del punto de monitoreo (RMoch1)

Para esta técnica se tomó en cuenta las recomendaciones del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales [10].

En primera instancia, se utilizó Google Earth Pro para reconocer la zona de estudio mediante imágenes satelitales, y así trazar un camino en paralelo a la cuenca baja del río Moche. De esta manera, se describieron las características del entorno, las cuales fueron: presencia de vegetación acuática; presencia de animales; actividades humanas; presencia de residuos sólidos; aguas residuales y otros factores que han modificado las características naturales del cuerpo de agua. Por último, se fijaron los puntos de ubicación a través de GPS y se georreferenciaron por medio de ArcGIS. También, se captaron imágenes de los puntos de monitoreo y los procedimientos mencionados en este apartado.

B. Técnica de muestreo simple

Para la realización de la técnica de muestro simple se tomó en cuenta las recomendaciones establecidas en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales [10].

En un inicio, el responsable de la toma de muestra se colocó los equipos de protección personal necesarios: guantes; bata y lentes de seguridad, seguido de esto, se prepararon los envases estériles (3 envases de 2 litros c/u y 1 envase de 1 litro). Despues, se recolectaron las muestras de agua y se preservaron de acuerdo con el tipo de parámetro, siguiendo las instrucciones de preservación; etiquetado; rotulado y transporte. Asimismo, se utilizó un plumón indeleble para el rotulado. Luego, se colocaron las muestras de aguas preservadas y rotuladas en un cooler para asegurar su llegada al laboratorio en óptimas condiciones de conservación. De esta manera, se obtuvo aproximadamente 7 litros de agua superficial proveniente de la cuenca baja del río Moche a la altura del Puente Moche – Carretera Panamericana.

C. Caracterización de la muestra de agua superficial

Para la caracterización de la muestra de agua superficial del río Moche también se tomó en cuenta las recomendaciones establecidas en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales [10].

Inmediatamente después de recolectar las muestras de agua superficial, se transportaron al laboratorio donde se inició el procedimiento de caracterización. En primer lugar, se procedió a calibrar el electrodo de temperatura y pH. Este electrodo debió estar ubicado dentro de la solución báfer. De esta manera, una vez con el equipo multiparámetro HACH HQ40d encendido, se inició con la calibración realizada a partir de las opciones de la configuración del equipo. Para el caso del electrodo de conductividad, se procedió a enjuagar con agua destilada con la finalidad de limpiar cualquier impureza que hubiese podido alterar la toma de resultados. Asimismo, se enjuagaron los electrodos de temperatura, pH y conductividad con la muestra de

agua superficial recolectada y se inició con la medición de los parámetros y con el registro las lecturas.

En segundo lugar, se procedió a calibrar el turbidímetro HACH 2100Q. Para esto, se contó con soluciones estándar de 10.00 NTU, 20.00 NTU y 100.00 NTU. Entonces, estando con el equipo encendido, se introdujeron las soluciones –una a la vez– dentro del equipo y se inició con la calibración realizada a partir de las opciones de la configuración del equipo. Asimismo, se enjuagó el envase de medición con la muestra de agua superficial recolectada, y antes de empezar con la medición de la turbiedad, se le aplicó una gota de silicona –la cual sirvió para limpiar el envase utilizando papel tisú–. Finalmente, se inició con la medición de la turbiedad y con el registro de lecturas. Con la finalidad de tener una medición más precisa y exacta, se realizaron 3 mediciones por parámetro; obteniéndose así 9 valores en total, con sus valores promedio y otras medidas de dispersión.

Por último, se anotaron los valores y sus unidades correspondientes en un Formato de Análisis para Laboratorio brindado por la Universidad Privada del Norte – Sede San Isidro, Trujillo. Este mismo tipo de formato se utilizó posteriormente en las demás pruebas. Terminada la medición, se lavaron los electrodos con agua destilada, se secaron y se guardaron adecuadamente. El electrodo de pH se conservó en la solución salina. También, se tomó en cuenta los certificados de calibración de los equipos pertenecientes al laboratorio de la Universidad Privada del Norte – Sede San Isidro, Trujillo.

D. Determinación de pH, temperatura y conductividad

Para la determinación del pH, temperatura y conductividad en ambas pruebas de jarras, se utilizó el equipo multiparámetro digital portátil marca HACH modelo HQ40d.

Primero, se procedió a calibrar el electrodo de temperatura y pH, así como se mencionó dentro de la caracterización de la muestra. Por lo tanto, este electrodo debió estar ubicado dentro de la solución búfer. De esta manera, una vez con el equipo multiparámetro encendido, se inició con la calibración realizada a partir de las opciones de la configuración del equipo. Para el caso del electrodo de conductividad, se procedió a enjuagar con agua destilada con la finalidad de limpiar cualquier impureza que hubiese podido alterar la toma de resultados.

Después, se procedió a realizar la medición de los parámetros para ambas pruebas, tanto para la prueba de jarras N° 1 y N° 2. Por lo tanto, en la prueba de jarras N° 1, se realizaron 6 mediciones –para cada jarra enumerada del 1 al 6–. Posterior-

mente, se anotaron los valores registrados para cada parámetro.

Luego, en la prueba de jarras N° 2, también se realizaron 6 mediciones –para cada jarra enumerada del 1 al 6–. Posteriormente, se anotaron los valores registrados para cada parámetro. Además, como se mencionó en el procedimiento anterior, se realizaron 3 mediciones por parámetro para cada muestra, obteniéndose así 108 valores en total (36 por parámetro), con sus valores promedio y otras medidas de dispersión.

E. Determinación de la turbiedad

Para la determinación de la turbiedad se utilizó el equipo turbidímetro digital portátil marca HACH modelo 2100Q.

En un inicio, se procedió a calibrar el turbidímetro, así como se mencionó dentro de la caracterización de la muestra. Para esto, se contó con soluciones estándar de 10.00 NTU, 20.00 NTU y 100.00 NTU. Entonces, estando con el equipo encendido, se introdujeron las soluciones –una a la vez– dentro del equipo y se inició con la calibración realizada a partir de las opciones de la configuración del equipo.

Después, se procedió a realizar la medición de la turbiedad para ambas pruebas, tanto para la prueba de jarras N° 1 y N° 2. Para esto, se mantuvo el mismo procedimiento mencionado en la caracterización de la muestra agua, teniendo en cuenta la aplicación de la gota de silicona y la limpieza del envase utilizado.

Por lo tanto, en la prueba de jarras N° 1, se realizaron 6 mediciones –para cada jarra enumerada del 1 al 6–. Posteriormente, se anotaron los valores registrados para cada parámetro.

Luego, en la prueba de jarras N° 2, también se realizaron 6 mediciones –para cada jarra enumerada del 1 al 6–. Posteriormente, se anotaron los valores registrados para cada parámetro. Además, como se mencionó en el procedimiento anterior, se realizaron 3 mediciones por parámetro para cada muestra, obteniéndose así 36 valores en total, con sus valores promedio y otras medidas de dispersión.

F. Determinación de la alcalinidad

En primer lugar, se tomó 1.00 ml de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 0.02 N con una micropipeta y se aforó en una fiola de 50.00 ml con agua destilada. Luego, se llevó la solución a una bureta de 50.00 ml y se colocó sobre el soporte universal.

Para la determinación de la alcalinidad en la caracterización de la muestra, se utilizó la muestra de agua superficial del río Moche. Por otro lado, para la determinación de la alcalinidad en ambas pruebas de jarras, se utilizaron las muestras de agua contenidas en las jarras –enumeradas del 1 al 6– para la prueba de jarras N° 1 y N° 2.

Entonces, en un matraz, se vertieron 25.00 ml de la muestra de agua determinada –según pertenezca– y se adicionaron 3 gotas de anaranjado de metilo. Después, se tituló la muestra determinada hasta que esta se tornó de un color rojizo. La alcalinidad, expresada en $mgCaCO_3/L$, se calculó usando (1).

$$\frac{N \times G \times K}{V} \quad (1)$$

$$\frac{Alcalinidad}{V}$$

=

En la ecuación anterior:

N = Normalidad de Ácido sulfúrico (H_2SO_4).

G = Gasto de Ácido sulfúrico (ml).

K = 5×10^4 (constante)

V = Volumen de la muestra determinada (ml).

G. Prueba de jarras

Para la realización de la prueba de jarras se utilizó el equipo Jar-Test (marca VELP Scientifica; modelo JLT6 Flocculators). Se representan el procedimiento a través de la Fig. 1.

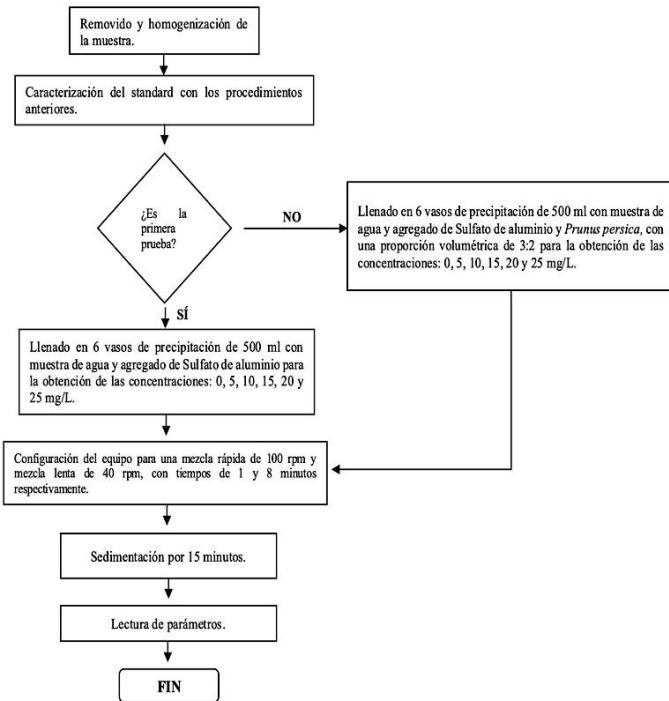


Fig. 1. Procedimiento para el desarrollo de la prueba de jarras

H. Evaluación de la remoción de la turbiedad

Para la evaluación de la remoción de turbiedad, se trabajó con la concentración inicial de turbiedad, la cual se determinó a través de la medición de dicho parámetro en la caracterización de la muestra standard de agua; y, además, con la concentración final de turbiedad de cada muestra de agua tanto en la primera prueba de jarras como en la segunda prueba de jarras. Es decir, se hallaron alrededor de 10 valores de turbiedad final (5 valores diferentes por cada prueba de jarras); sin contar los valores de la jarra n° 1 en ambas pruebas, ya que estos contenían la concentración inicial de turbiedad del standard siendo un valor de 153.00 NTU. El porcentaje de remoción de la turbiedad presente en ambas pruebas se calculó utilizando (2).

$$\% R = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad (2)$$

En la ecuación anterior:

R = Porcentaje de la remoción de la turbiedad.

C_i = Concentración inicial en NTU.

C_f = Concentración final en NTU.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se expone la discusión del presente trabajo de investigación basada en los resultados obtenidos en el apartado anterior.

En primer lugar, tomando como punto de partida el primer objetivo planteado en el presente trabajo: Caracterizar la muestra de agua superficial recolectada del río Moche; se muestran los resultados obtenidos dentro de la Tabla N° 3;

donde se encontró que la muestra de agua analizada en el punto de monitoreo “RMoch1” presentaba valores situados dentro del rango establecido [11]. Es decir, los valores de la temperatura y pH pertenecían y/o eran inferiores o superiores a los límites determinados por la entidad. Por lo tanto, para el parámetro de temperatura, los valores debieron mantenerse a una temperatura ambiente de 22.00 °C con una variación térmica de 3.00 °C

(Δ3.00°C) y para el pH, estos debieron mantenerse en el rango de 6.00 a 9.00. No obstante, la turbiedad presente en la muestra superaba los 100.00 NTU, debiéndose, posiblemente, por el constante vertimiento de efluentes cercanos al río Moche.

TABLA 3
CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE AGUA SUPERFICIAL RECOLECTADA DEL RÍO MOCHE

TURBIDEZ (NTU)	CONDUTIVIDAD (μS/cm)	pH	TEMPERATURA (°C)	MEDIDAS DE DISPERSIÓN					
				X	X _i	Media (̄)	Varianza (S ²)	Desv. Estándar (S)	Mediana (X̄)
150.00	385.45	7.90	22.20						
157.00	392.18	7.50	22.00						
152.00	390.36	8.10	21.80						
150.00	385.45	7.50	21.80						
152.00	390.36	7.90	22.00						
157.00	392.18	8.10	22.20						
153.00	389.33	7.83	22.00						
13.00	12.12	0.09	0.04						
3.61	3.48	0.31	0.20						
152.00	390.36	7.90	22.00						
2.36	0.89	3.90	0.91						
7.00	157.00	6.73	392.18	0.60	8.10	0.40	22.20	Rango (R)	VMAX
								21.80	VMIN
	150.00		385.45		7.50				

Entonces, como se mencionó anteriormente, en la Tabla N° 3, se muestran los valores obtenidos en la caracterización de la muestra de agua superficial del río Moche; teniendo como temperatura promedio: 22.00 °C; como pH promedio: 7.83;

como conductividad promedio: 389.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y como turbiedad promedio: 153.00 NTU. De esta manera, la temperatura óptima de la muestra de agua –según la ubicación geográfica donde fue recolectada– debió estar alrededor de los 20 $^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) [12]; y el valor del pH alrededor de 7.40 [13]. Por lo tanto, se aprecia que los valores obtenidos pertenecen y/o están dentro del rango mencionado.

También, en la Tabla N° 4, se determinó el valor de la alcalinidad de la muestra; el cual fue: 68.00 mgCaCO₃/L. No obstante, este parámetro fue menos relevante, debido a que no se encuentran límites establecidos dentro de la categoría y subcategoría del decreto mencionado con anterioridad.

TABLA 4
CÁLCULO DE LA ALCALINIDAD EN LA MUESTRA DE AGUA SUPERFICIAL DEL RÍO MOCHE

VARIABLES PARA EL CÁLCULO DE LA ALCALINIDAD						
PARÁMETROS FÍSICOS						
Alcalinidad (Alc.)	Normalidad (N)	Gasto (G)	Constante (K)	Volumen (V)	Ecuación	Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)
0.02N	3.40ml	5x10 ⁴		50.00ml	$Alc = \frac{N \times G \times K}{V}$	68.00

En segundo lugar, se presenta la sustentación del siguiente objetivo: Determinar la dosis óptima del Sulfato de aluminio y de *Prunus persica* como complemento del Sulfato de aluminio. Por lo tanto, luego de realizar con éxito las pruebas de jarras N° 1 y N° 2, se recolectaron los nuevos valores de los parámetros físicos ya establecidos. Asimismo, se considera fundamental el entendimiento del comportamiento de ambos coagulantes en función a sus resultados, dentro de cada parámetro analizado, para la obtención de la dosis óptima correspondiente a cada uno.

De esta manera, en la Tabla N° 5, se observa una comparación de las variaciones de temperatura en la prueba N° 1 y en la prueba N° 2; teniendo 22.00 $^{\circ}\text{C}$ como temperatura inicial en ambas pruebas. En la prueba N° 1, no se observaron cambios significativos en la temperatura, manteniendo los valores en un rango entre 21.50 $^{\circ}\text{C}$ y 22.00 $^{\circ}\text{C}$; donde se alcanzó los 21.50 $^{\circ}\text{C}$ como valor mínimo final de temperatura. En la prueba N° 2, tampoco se registraron cambios significativos en la temperatura; los rangos de los valores se establecieron entre 22.00 $^{\circ}\text{C}$ y 23.20 $^{\circ}\text{C}$, de esta manera, se obtuvo 23.20 $^{\circ}\text{C}$ como valor máximo final de temperatura.

Además, la referencia [14] indicó que obtuvo temperaturas iniciales alrededor de 19.00 $^{\circ}\text{C}$, 22.00 $^{\circ}\text{C}$ y 25.00 $^{\circ}\text{C}$. De igual manera, menciona que alcanzó mejores resultados de remoción con el Sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃) a 25.00 $^{\circ}\text{C}$, que con otros coagulantes naturales.

TABLA 5
CONCENTRACIÓN DE LA TEMPERATURA FINAL EN LA PRUEBA DE JARRAS N° 1 Y N° 2

N° DE JARRAS	PARÁMETROS FÍSICOS	DOSIFICACIÓN	N° DE PRUEBA DE JARRAS	
	TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)	Concentración total (mg/L)	N° 1 ($^{\circ}\text{C}$)	N° 2 ($^{\circ}\text{C}$)
JARRA N°1	0.00	22.00	22.00	
JARRA N°2	5.00	22.00	23.10	
JARRA N°3	10.00	22.00	23.20	
JARRA N°4	15.00	21.90	23.20	
JARRA N°5	20.00	22.10	23.20	
JARRA N°6	25.00	21.50	23.20	

En la Tabla N° 6, se muestra un cuadro comparativo de las variaciones de pH en la prueba N° 1 y la prueba N° 2; contando con un pH inicial de 7.83 en ambas pruebas. En la prueba N° 1, se observó que el pH fue disminuyendo secuencialmente por cada jarra, siendo el pH más bajo el de la jarra N° 6 con una concentración de pH final de 6.48. De igual manera, en la prueba N° 2, se registró una relación inversamente proporcional entre la dosis del coagulante y el pH, obteniendo un pH final de 6.52. Sin embargo, para esta segunda prueba, el pH mínimo fue determinado en la jarra N° 5 cuyo valor fue de 6.32.

La referencia [14] observó un valor similar de pH inicial de 7.20 en su muestra de agua; como mejor tratamiento también se tuvo a la *Prunus persica* (semilla de durazno) –pero en este caso– alcalinizándolo a un pH de 7.54; mientras que el coagulante químico provocó igualmente una acidificación del agua con un pH de 6.92, lo cual se debe al aluminio (Al) presente en este compuesto.

TABLA 6
CONCENTRACIÓN DEL pH FINAL EN LA PRUEBA DE JARRAS N° 1 Y N° 2

N° DE JARRAS	PARÁMETROS FÍSICOS	DOSIFICACIÓN	N° DE PRUEBA DE JARRAS	
	pH	Concentración total (mg/L)	N° 1	N° 2
JARRA N°1	0.00	7.83	7.83	
JARRA N°2	5.00	7.55	7.05	
JARRA N°3	10.00	6.87	6.81	
JARRA N°4	15.00	6.62	6.54	
JARRA N°5	20.00	6.51	6.32	
JARRA N°6	25.00	6.48	6.52	

En la Tabla N° 7, se presenta una comparación de las variaciones de conductividad en la prueba N° 1 y en la prueba N° 2; poseyendo una conductividad inicial de 389.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en ambas pruebas. En la prueba N° 1, se pudo observar que la conductividad se mantuvo casi constante en las diferentes jarras y se obtuvo un valor final de 391.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No obstante, para la prueba N° 2, se registró una disminución variada de la conductividad en las 6 jarras, teniendo como valor máximo: 389.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Jarra N° 1); y como valor mínimo: 305.00

$\mu\text{S}/\text{cm}$ (Jarra N° 3); asimismo, se obtuvo un valor final de 313.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

También, la referencia [15] encontró una conductividad inicial de 119.47 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y existieron diferencias significativas para la conductividad eléctrica entre los tratamientos aplicados, dicho esto –para aquellos donde predominó el Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)– se obtuvo menores niveles de conductividad establecidos en un rango entre 117.87 y 118.13 $\mu\text{S}/\text{cm}$; sin embargo, para los tratamientos donde se utilizó coagulante natural, confirieron una conductividad mayor en el agua clarificada que en el agua sin tratamiento; lo que podría significar que el tipo de coagulante natural, ya sea *Prunus persica* en esta ocasión, puede brindar diferentes atribuciones para el tratamiento de aguas y provocar un aumento o disminución de la conductividad presente en el agua.

TABLA 7
CONCENTRACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD FINAL EN LA PRUEBA DE JARRAS N° 1 Y N° 2

N° DE JARRAS	PARÁMETROS FÍSICOS		DOSIFICACIÓN		N° DE PRUEBA DE JARRAS	
	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Concentración total (mg/L)	N° 1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	N° 2 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	N° 1	N° 2
JARRA N° 1	0.00	389.33	389.33			
JARRA N° 2	5.00	387.00	311.00			
JARRA N° 3	10.00	390.00	305.00			
JARRA N° 4	15.00	390.00	306.00			
JARRA N° 5	20.00	389.00	310.00			
JARRA N° 6	25.00	391.00	313.00			

En la Tabla N° 8, se observa un cuadro comparativo de las variaciones de turbiedad en la prueba N° 1 y la prueba N° 2; contando con una turbiedad inicial de 153.00 NTU en ambas pruebas. En la prueba N° 1, se observó que dentro de la Jarra N° 6 –donde se utilizó una dosis de 25.00 mg/l de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – la turbiedad llegó a disminuir hasta 0.80 NTU. Sin embargo, para la prueba N° 2, dentro de la Jarra N° 6 –donde se agregó 15.00 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + 10.00 mg/L de *Prunus persica*– se registró un mínimo valor de solo 4.98 NTU.

Asimismo, cabe destacar que de una muestra de agua con un valor de turbiedad inicial de 100.00 NTU, con el Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) se pudo reducir sus valores hasta un rango de 3.80 ± 0.10 NTU; y, por otro lado, la *Prunus persica* (semilla de durazno) los redujo hasta un rango 7.30 ± 2.70 NTU [16].

También, la *Prunus persica* (semilla de durazno) llegó a reducir la turbiedad de una muestra de agua proveniente del canal Chavimochic –ubicado en la zona de Alto Moche por donde transcurre agua superficial proveniente del río Santa– desde un valor inicial de 1302.00 NTU hasta un valor final de 91.80 NTU [17].

De la misma manera, la referencia [18] indicó que la utilización de *Prunus persica* (semilla de durazno), como coagulante para la aclaración de aguas turbias, sirvió para

disminuir la turbiedad desde un valor máximo de 461.00 NTU hasta un valor mínimo de 16.00 NTU.

TABLA 8
CONCENTRACIÓN DE LA TURBIEDAD FINAL EN LA PRUEBA DE JARRAS N° 1 Y N° 2

N° DE JARRAS	PARÁMETROS FÍSICOS		DOSIFICACIÓN	N° DE PRUEBA DE JARRAS	
	TURBIEDAD (NTU)	Concentración total (mg/L)		N° 1 (NTU)	N° 2 (NTU)
JARRA N° 1	0.00		153.00	153.00	
JARRA N° 2	5.00		8.12	30.20	
JARRA N° 3	10.00		3.49	9.72	
JARRA N° 4	15.00		2.09	7.08	
JARRA N° 5	20.00		1.57	6.00	
JARRA N° 6	25.00		0.80	4.98	

En la Tabla N° 9, se muestra una comparación de las variaciones de la alcalinidad en la prueba N° 1 y la prueba N° 2; teniendo 68.00 mgCaCO₃/L como alcalinidad inicial en ambas pruebas. En la prueba N° 1, se observó que la disminución de la alcalinidad tuvo una relación inversamente proporcional con la dosis del coagulante mencionado, reduciendo su valor hasta 32.00 mgCaCO₃/L. Por otro lado, en la prueba N° 2, el valor mínimo de alcalinidad fue de 52.00 mgCaCO₃/L en las Jarras N° 4, N° 5 y N° 6.

Asimismo, la referencia [16] señaló que los valores finales de la alcalinidad en la muestra de agua tratada con *Prunus persica* (semilla de durazno), se establecieron en un rango de 66.70 ± 11.80 mgCaCO₃/L; ubicando a la mayoría de los valores hallados en esta evaluación dentro del intervalo mencionado.

Además, los cambios en la concentración final de la alcalinidad de las muestras fueron relativamente bajos con un coeficiente de variación menor al 0.06% (C.V. < 6%) para una turbiedad inicial mayor a 66.00 NTU en ambas pruebas [7]. Esto permite declarar que la aplicación del coagulante natural no afecta considerablemente las características originales de la muestra.

TABLA 9
CONCENTRACIÓN DE LA ALCALINIDAD FINAL EN LA PRUEBA DE JARRAS N° 1 Y N° 2

N° DE JARRAS	PARÁMETROS FÍSICOS		DOSIFICACIÓN	N° DE PRUEBA DE JARRAS	
	ALCALINIDAD (mgCaCO ₃ /L)	Concentración total (mg/L)		N° 1 (mgCaCO ₃ /L)	N° 2 (mgCaCO ₃ /L)
JARRA N° 1	0.00		68.00	68.00	
JARRA N° 2	5.00		76.00	88.00	
JARRA N° 3	10.00		68.00	64.00	
JARRA N° 4	15.00		36.00	52.00	
JARRA N° 5	20.00		40.00	52.00	
JARRA N° 6	25.00		32.00	52.00	

En consecuencia, se determinó la dosis óptima de los coagulantes con respecto a las cantidades y las concentraciones de Sulfato de aluminio y/o *Prunus persica* (semilla de durazno) utilizadas frente a las turbiedades registradas en ambas pruebas de jarras.

En la Fig. 2, se presenta la determinación de la dosis óptima de coagulantes. En este caso, en función a la concentración del tipo de coagulante empleado y la turbiedad final registrada, la dosis óptima determinada para la prueba N° 1 –donde solo se adicionó coagulante artificial a base de Sulfato de aluminio– fue de 5.00 mg/L. Asimismo, para la prueba N° 2 –donde se utilizó una distribución porcentual de 60% Sulfato de aluminio más 40% coagulante natural a base de *Prunus persica*– la dosis óptima definida también fue de 5.00 mg/L; aquí 3.00 mg/L fueron de Sulfato de aluminio y 2.00 mg/L de *Prunus persica*.

Además, para turbiedades entre 200.00 y 360.00 NTU, el coagulante natural empleado tuvo el mismo comportamiento que el Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) con la misma concentración y dosis mayores a 10.00 mg/L. A pesar de ello, con dosis menores y turbiedades inferiores de agua cruda, el Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) se comportó de manera más eficiente que el coagulante natural; esto deja evidenciado la superioridad del Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) frente a la *Prunus persica* (semilla de durazno) [7].

También, la referencia [17] indicó que la dosis óptima determinada para la remoción de turbiedad del canal de Chavimochic fue de 15.00 mg/L de coagulante natural a base de *Prunus persica* (semilla de durazno), teniendo nuevamente una similitud con la dosis mencionada anteriormente; no obstante, el valor final de turbiedad para su muestra fue de 91.80 NTU, mientras que el de esta evaluación fue de 4.98 NTU, lo que puede ser explicado por las dimensiones del proyecto de investigación.

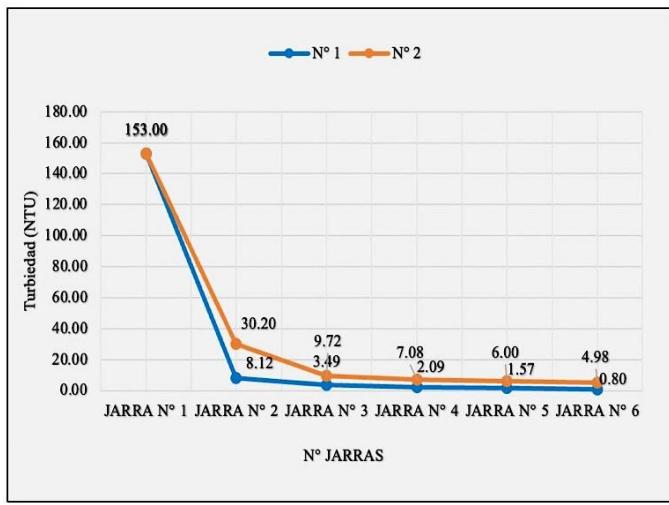


Fig. 2. Determinación de la dosis óptima de los coagulantes

En tercer lugar, se precisó: Determinar el porcentaje de remoción de la turbiedad; en función a los valores mínimos de turbiedad alcanzados en ambas pruebas de jarras.

En la Fig. 3, se muestra una comparación gráfica de la remoción de la turbiedad en la prueba N° 1 y la prueba N° 2.

En la prueba N° 1, se observó que, en la jarra N° 6 –la cual contenía una dosis de 25.00 mg/L de coagulante a base de Sulfato de aluminio– presentó un porcentaje de remoción de 99.48%, siendo este el valor más alto logrado en ambas pruebas. Por otro lado, en la prueba N° 2, el valor máximo de dicha prueba también se observó en la jarra N° 6 –la cual contenía una dosis de 25.00 mg/L con una distribución porcentual de 60.00% Sulfato de aluminio más 40.00% coagulante natural a base de *Prunus persica*–; no obstante, se obtuvo un porcentaje de remoción de 96.75%, el cual fue inferior al de la primera prueba.

Además, la referencia [16] mencionó que los porcentajes de remoción fueron superiores al 90.00%, tanto para el Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) como para la *Prunus persica* (semilla de durazno); sin embargo, las dosis utilizadas fueron 10.00 mg/L y 250.00 mg/L, respectivamente.

Igualmente, otra investigación expone que el coagulante natural utilizado consiguió altas eficiencias de remoción de turbidez, siendo estas superiores al 90.00%, que se lograron con dosis entre 4.50 y 17.50 mg/L de coagulante natural [7]; dichos valores de remoción y dosis de coagulante coinciden con los logrados en la investigación, lo cual aumenta la confiabilidad de los resultados.

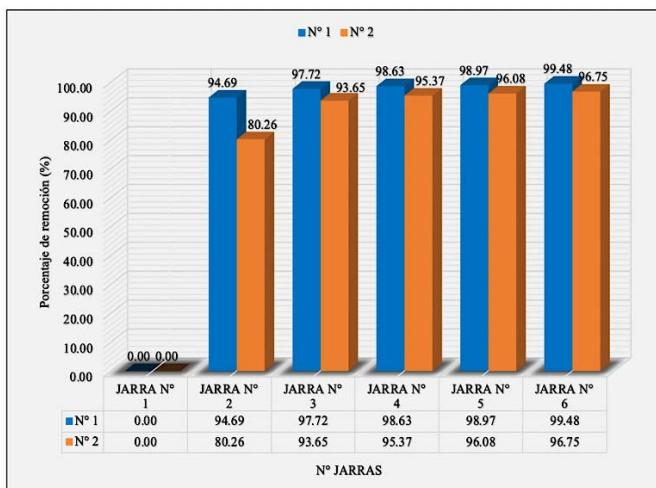


Fig. 3. Comparación gráfica de la remoción de la turbiedad en la prueba N° 1 y prueba N° 2

Por último, respondiendo al último objetivo planteado: Comparar los resultados obtenidos con el D.S. N° 004-2017-MINAM (Categoría 1, Subcategoría B); se observa que los resultados obtenidos en este trabajo de investigación son aceptables según la normativa, debido a que cumplen con los parámetros y no representan un peligro para su reutilización en la recreación [11]. Sin embargo, es necesario el estudio y la evaluación de otros parámetros físicos, químicos y/o biológicos para que se pueda determinar si esta agua tratada puede ser designada para otros fines (otras categorías y/o subcategorías) presentados también en la presente normativa.

De esta manera, se menciona que el porcentaje de remoción cuando solo se utilizó Sulfato de aluminio fue superior en todas las jarras; cabe destacar que ambas pruebas

superaron una eficacia del 95.00%, lo cual demuestra que dichos coagulantes poseen un excelente potencial para la remoción de contaminantes dentro del tratamiento de aguas superficiales.

IV. CONCLUSIONES

Principalmente, se concluye que la eficacia de la *Prunus persica* no es significativa como complemento del Sulfato de aluminio en la remoción de la turbiedad presente en aguas superficiales del río Moche – Trujillo, 2019; a pesar de haber obtenido finalmente un porcentaje de remoción de 96.75%, en la segunda prueba de jarras. Esto se demuestra a través de la prueba t-Student, donde el valor “P” fue de 0.8439 ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95.00%.

De manera específica, se caracterizó la muestra de agua superficial del río Moche, evaluando los parámetros físicos de temperatura, pH, conductividad, turbiedad y alcalinidad. Asimismo, los valores obtenidos fueron: 22.00 °C para la temperatura; 7.83 para el pH; 389.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la conductividad; 153.00 NTU para la turbiedad y 68.00 mgCaCO₃/L para la alcalinidad.

Además, se determinó la dosis óptima del Sulfato de aluminio, durante la primera prueba de jarras, la cual fue 5.00 mg/L; y la dosis óptima de la *Prunus persica* como complemento del Sulfato de aluminio, durante la segunda prueba de jarras –dentro de la Jarra N° 2– la cual poseía una concentración de coagulantes de 5.00 mg/L. Asimismo, esta última concentración se encontraba conformada por 3.00 mg/L a base de Sulfato de aluminio y 2.00 mg/L de *Prunus persica*.

Asimismo, se determinó el porcentaje de remoción de la turbiedad según el uso de los coagulantes; teniendo como resultado para cada jarra –enumerada del 1 al 6– en la prueba N° 1: 0.00%; 94.69%; 97.72%; 98.63%; 98.97% y 99.48%, respectivamente; y para cada jarra en la prueba N° 2: 0.00%; 80.26%; 93.65%; 95.37%; 96.08% y 96.75%, respectivamente.

Finalmente, se compararon los resultados obtenidos en la presente investigación con el D.S. N° 004-2017-MINAM (Categoría 1, Subcategoría B); los cuales se encuentran situados dentro del rango establecido por la entidad; es decir, los valores finales de la temperatura, pH, conductividad, turbiedad y alcalinidad pertenecen y/o son inferiores a los límites determinados en la normativa peruana vigente.

RECONOCIMIENTO

Agradecemos a todas las personas que nos han apoyado a lo largo de la carrera universitaria e hicieron posible que el trabajo se culmine con total éxito.

REFERENCIAS

- [1] Lozano, W. y Lozano, G. (2015). Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio. Recuperado de <https://bit.ly/30lodEZ>
- [2] Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C. y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Rev. U.D.C.A Act. y Div. Cient: Revista digital, Vol. 16, No. 1, 253-262. Recuperado de <https://bit.ly/2S3IwU8>
- [3] Ramírez, H. y Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Revista de la Universidad Militar Nueva Granada: Revista digital, Vol. 11, No. 2, 136-153. Recuperado de <https://bit.ly/2XWZkRW>
- [4] Segura L. (2007). Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica de Colombia. Escuela Superior de Administración Pública. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/2L1Nty>
- [5] MINAM. (2015). Estudio de desempeño ambiental 2003-2013. Recuperado de <https://bit.ly/3dvj7vB>
- [6] Neyra, E. y Llenque, E. (2011). Grado de contaminación por relaves mineros en la cuenca del río Moche (Departamento de La Libertad). Biblioteca digital de la Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de <https://bit.ly/2NG94MH>
- [7] Feria J., Bermúdez S. y Estrada A. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Olefera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sínú. Revista Producción + Limpia: Revista digital, Vol. 9, No. 1, 9 – 22. Recuperado de <https://bit.ly/2XQj0Hj>
- [8] Olivero, R., Mercado, I. y Montes, L. (2013). Remoción de la turbidez del agua del Magdalena usando mucilago del nopal *Opuntia ficus-indica*. Producción + Limpia: Revista Digital, Vol. 8, No. 1, 19 – 27. Recuperado de <https://bit.ly/2JmJWX6>
- [9] Hernández, R. (2014). Metodología de la investigación. México D.F., México Recuperado de <https://bit.ly/3dnALFf>
- [10] ANA. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima, Perú. Recuperado de <https://bit.ly/3qD4iOX>
- [11] MINAM. (2017). D.S N° 004-2017-MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Recuperado de <https://bit.ly/2PdRo9L>
- [12] Rodríguez, W. (2019). Evaluación de resultados de monitoreo de calidad del agua de la cuenca del río Moche – La Libertad – Perú, 2014 – 2016. Recuperado de <https://bit.ly/2OmLxRz>
- [13] ANA. (2014). Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Moche – La Libertad, Febrero 2014. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2229>
- [14] Quino, P. (2020). Evaluación de aguas residuales bajo el tratamiento a diferentes temperaturas de coagulación- floculación con semillas de Durazno (*Prunus persica*), Tuna (*Opuntia ficus indica*) y cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) del río Jillusaya. Revista Apthapi: Revista digital, Vol. 6, No. 1, 1839-1852. Recuperado de <https://bit.ly/3kcwipz>
- [15] Contreras, K., Mendoza, Y., Salcedo, G., Olivero, R. y Mendoza, G. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. Revista Producción + Limpia, Vol. 10, No. 1, 40-50. Recuperado de <https://bit.ly/3D08qIN>
- [16] Carrasquero et al. (2015). Eficiencia de las semillas de durazno (*Prunus persica*) como coagulante en la potabilización de aguas. Maracaibo, Venezuela. Recuperado de <https://bit.ly/3yFUTXs>
- [17] Barbarán, H., López, J. y Chico, J. (2017). Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*Prunus persica*) y palta (*Persea americana*). Trujillo, Perú. Recuperado de <https://bit.ly/3lR9ps8>
- [18] Chávez, S. (2018). Evaluación de la acción coagulante de la semilla de durazno y tallo de nopal: aclaración de aguas turbias. UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Sociales. Machala, Ecuador. Recuperado de <https://bit.ly/3wyngdT>