

Eficiencia de la semilla de durazno *Prunus pérsica* S “Salcajá” como coagulante natural

Efficiency of the peach seed Prunus pérsica S "Salcajá" as a natural coagulant

Amilcar Bernardino Racancoj Alonzo 

¹Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos,
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala
Dirección para recibir correspondencia: amilcar4991@gmail.com

Recibido: 29/09/2021 Aceptado: 26/04/2022

Resumen

El uso de tecnologías amigables al medio ambiente y la relación del sulfato de aluminio con daños a la salud mental han dirigido el interés hacia la investigación de polielectrolitos naturales, por lo que esta investigación analiza la eficiencia de la molienda producida por la semilla *Prunus pérsica* S “Salcajá” como coagulante natural para la remoción de turbiedad y color aparente en agua potable. El diseño experimental consideró un modelo de bloques completos al azar con 6 bloques con distintos niveles de turbiedad y color aparente en 4 tratamientos: 0 mg/l, 30, 70 y 140 mg/l. La prueba de jarras evaluó la eficiencia del coagulante natural midiendo los parámetros de pH, turbiedad y color aparente. El análisis de varianza de dos factores evidenció que, en el rango de turbiedades de 3 a 623 UNT y de color aparente de 40 a 2250 UPT-Co los tratamientos no son estadísticamente significativos. La prueba post hoc bajo el criterio de Tukey demostró que el mejor resultado de remoción se da en el tratamiento de 30 mg/l con un 64.99 % de remoción en turbiedad y en color un 43.30%. El análisis de varianza para los niveles de turbiedad y color aparente iniciales arrojó que sí existe diferencia significativa entre bloques y mediante la prueba post hoc se demostró que la mejor remoción de turbiedad se encuentra en el bloque de 623 UNT con una eficiencia del 84.35% y en color aparente en el bloque de 1,656 UPT-Co con una eficiencia de 56.82%.

Palabras claves: Molienda de *Prunus pérsica*, sulfato de aluminio, polielectrolitos orgánicos, cotiledones, prueba de jarras, coagulación-floculación.

Abstract

The use of environmentally friendly technologies and the relationship of aluminum sulfate with mental health damages have directed the interest towards the investigation of natural polyelectrolytes. This research analyzes the efficiency of the milling produced by the *Prunus pérsica* S "Salcajá" seed as a natural coagulant for the removal of turbidity and apparent color in drinking water. The experimental design considered a randomized complete block model with 6 blocks with different levels of turbidity and apparent color in 4 treatments: 0 mg/l, 30, 70 and 140 mg/l. The jar test evaluated the efficiency of the natural coagulant by measuring the parameters of pH, turbidity, and apparent color. The two-factor analysis of variance showed that, in the range of turbidity from 3 to 623 UNT and apparent color from 40 to 2250 UPT-Co, the treatments were not statistically significant. The post hoc test under Tukey's criterion showed that the best removal result is given by the 30 mg/l treatment with 64.99% removal in turbidity and 43.30% in color. The analysis of variance for the initial levels of turbidity and apparent color showed that there is a significant difference between blocks and the post hoc test showed that the best turbidity removal is found in the 623 UNT block with an efficiency of 84.35% and in apparent color in the 1,656 UPT-Co blocks with an efficiency of 56.82%.

Key words: Milling of *Prunus pérsica*, aluminum sulfate, organic polyelectrolytes, cotyledons, jar test, coagulation-flocculation.



Introducción

Actualmente la disponibilidad de agua potable está bajo amenaza creciente de contaminación, en el caso de las aguas superficiales debido a la erosión de los suelos, disolución de sustancias minerales, descomposición de materia orgánica y actividades humanas, así como a descargas sanitarias, industriales y agrícolas. El color aparente y la turbiedad son parámetros de gran importancia en la evaluación de la calidad del agua y se consideran indicadores sanitarios dentro de los parámetros de aceptación para aguas que se destinen al consumo humano Organización Mundial de la Salud [OMS], (2018).

Existen diferentes procesos físicos y químicos para el tratamiento del agua siendo uno de los más usados el proceso coagulación floculación (Arboleda 2001). En dicho proceso se añaden compuestos químicos al agua cruda para reducir las fuerzas que separan a los coloides y formen aglomerados fáciles de remover en procesos posteriores como la sedimentación y filtración, mejorando las propiedades de color y turbiedad en el agua. Este proceso se caracteriza por el uso de coagulantes. Los coagulantes son agentes que se agregan al agua colaborando al proceso de asentamiento de materiales coloidales en suspensión y su adición se realiza mediante una mezcla rápida que disipa el coagulante y favorece su contacto con las partículas en suspensión (Sawyer et al., 2001). Dentro de estos coagulantes se encuentran el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el carbonato de calcio y polímeros orgánicos sintéticos Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria/Organización Panamericana de la Salud [CEPIS/OPS], (2004a). El sulfato de aluminio es un coagulante muy usado en distintos países, según algunos estudios está relacionado al deterioro cognitivo, demencia y en la aparición de la enfermedad del Alzheimer en los seres humanos, (Rondeau et al., 2009).

La demanda creciente de tecnologías que sean amigables al medio ambiente y la búsqueda de la seguridad hídrica ha dirigido el interés hacia los polielectrolitos naturales, los cuales pueden llegar a reemplazar a los coagulantes sintéticos (Bratskaya et al., 2004). Debido a esto se han desarrollado investigaciones en la búsqueda y evaluación de coagulantes naturales, producidos o extraídos a partir de microorganismos y tejidos de plantas o animales. Estos deben ser biodegradables y seguros para la salud humana. Entre las investigaciones realizadas se pueden

mencionar: 1) coagulante a base de semilla de moringa estudiado por Mejía (1986) y Turcios (2019); 2) coagulante de fécula de maíz estudiada por Martínez (1987); 3) coagulante de almidón de yuca estudiado por Moscoso (2015); 4) coagulante de semilla de tamarindo estudiado por Álvarez (2017); y 5) coagulante de *Prunus pérsica* estudiado por Fernández (2018).

Este artículo analiza la utilización de la semilla de *Prunus pérsica* S “Salcajá” como un coagulante natural en el proceso de remoción de turbiedad y color aparente. Para su análisis se consideró el modelo experimental de bloques completos al azar, con ayuda de la calculadora muestral Granmo se establecieron 6 grupos en los cuales se aplicaron 4 tratamientos, en dichos grupos se evaluaron niveles de turbiedad y color aparente distintos utilizando tres fuentes de agua provenientes de los ríos de la región de occidente y tres muestras de agua para consumo humano tomada del grifo con turbiedad inducida mediante inclusión de arcilla. El análisis de datos se realizó mediante un análisis de varianza de dos factores. Para la prueba post hoc o post ANOVA se utilizó la prueba de Tukey determinando cuales de estos tratamientos son significativos, y en cuál de ellos se ejerce la mejor remoción promedio de turbiedad y color aparente.

Antecedentes

Vásquez (2013) menciona que las semillas de los frutos remueven la turbiedad del agua debido a que las proteínas liberadas se enlazan con las partículas y bacterias suspendidas, y forman aglomerados que son removidos en sedimentación.

Para Asrafuzzaman et al. (2011) los polímeros orgánicos de origen natural se han utilizado por más de 4,000 años en India, África y China como coagulantes eficientes y como ayudantes de coagulación de aguas con alta turbiedad a nivel doméstico en áreas rurales.

Según Rodríguez et al. (2014) a inicios de los años setenta muchos países latinoamericanos quisieron implementar la utilización de coagulantes naturales, sin embargo, esta iniciativa se vio limitada por el auge de polímeros sintéticos que demostraron una mayor efectividad, pero cuyos costos y acceso no necesariamente es fácil, por lo que a pesar de esto aún se tiene interés por investigar la utilización de coagulantes naturales ya sea en aplicación directa o combinada con polímeros sintéticos.

Ramírez y Jaramillo (2014) propusieron una metodología para el análisis de 16 semillas diferentes teniendo en cuenta su contenido en proteínas y polisacáridos para el proceso de coagulación, sugieren también que estas tienen capacidad de desinfección dado que, las semillas contienen una cantidad de ácido ascórbico, fumárico o cítrico.

En Guatemala se han realizado estudios sobre coagulantes naturales como los realizados por: 1) Mejía (1986), quien estudió la semilla de moringa como coagulante natural, logrando una reducción de los niveles de turbiedad del 80%; 2) Martínez (1987) quien evaluó la fécula de maíz como coagulante, quien concluyó que se puede substituir hasta un 25 % del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación; 3) Moscoso (2015), quien realizó la evaluación del uso de almidón de yuca como coagulante natural y demostró que es posible substituir hasta en un 60 % del sulfato de aluminio; 4) Álvarez (2017), quien evaluó la capacidad de la semilla de tamarindo como coagulante, reportó una eficiencia del 67.8% en la remoción de turbiedad y 49.7% en la remoción de color; 5) Turcios (2019), quien evaluó la capacidad de la semilla moringa oleífera como coagulante, obtuvo porcentajes de remoción de 55 % en la turbiedad.

En relación con la semilla del género *Prunus pérsica* se tiene el estudio realizado por Fernández (2017), quien a través de su investigación en aguas residuales domésticas determinó que el uso de las semillas de *Prunus pérsica* remueve la turbidez en un 82%, y reduce los valores de *Escherichia coli* en 95%.

Metodología

Enfoque metodológico

El trabajo presenta una investigación cuantitativa de tipo experimental porque se relacionan los efectos que generan la dosis del coagulante natural y los distintos niveles de turbiedad y color aparente iniciales, sobre la turbiedad y color aparente final en las diferentes muestras de agua analizadas. El diseño experimental utilizado es el de bloques completos al azar; definido por Mendoza y Bautista (2002) y utilizado por Racancoj (2021) donde se definieron las unidades experimentales y para cada una de ellas se consideró que t es el número de tratamientos procurando que estas unidades experimentales sean lo más homogéneas posibles y las diferencias entre estas se definan por estar en diferentes grupos. Los conjuntos conformados

fueron llamados bloques, dentro de cada bloque las unidades experimentales fueron signadas aleatoriamente considerando que cada tratamiento puede ocurrir exactamente una vez en un bloque (Racancoj, 2021).

Definición y operacionalización de variables

Variable independiente: dosis de coagulante a partir de la molienda de la semilla *Prunus pérsica* S “Salcajá” a una concentración y tiempo de aplicación. Las semillas de los frutos remueven la turbiedad de agua debido a que las proteínas liberadas se enlazan con las partículas y bacterias suspendidas, formando aglomerados que son removidos en sedimentación.

Variable independiente: bloques con diferentes niveles de turbiedades y color aparente. Según Arboleda (2001) el número, concentración y masa de las partículas, así como su tamaño, forma e índice de refracción, influyen la turbiedad y color aparente de una suspensión.

Variable dependiente: reducción de turbidez y color aparente. La turbidez y el color aparente son parámetros físicos que determinan la calidad del agua. La tabla 1 muestra la operacionalización de variables.

Determinación del número de muestras de agua para la aplicación de los tratamientos

Los puntos de muestreo se determinaron con base en la cantidad de bloques que se evaluarían, apoyándose en la calculadora muestral Granmo, para lo cual se asignaron las siguientes condiciones:

- Riesgo alfa: 0.05
- Tipo de contraste: unilateral
- Riesgo beta: 0.05
- Numero de grupos o tratamientos a aplicar: 4
- Desviación estándar común: 10
- Diferencia mínima a detectar entre grupos: 25
- Proporción prevista en seguimiento: 0

El resultado de la aplicación de la calculadora muestral definió que era necesario para el diseño experimental propuesta la utilización de seis bloques y cuatro tratamientos para alcanzar el grado de representatividad que se definió para el estudio. Este resultado implicó la necesidad de tener que trabajar con seis muestras, cada una de ellas con valores de turbiedad y color aparente diferentes.

Para cumplir con el requisito del número de muestras con condiciones de turbiedad y color diferente, se consideró utilizar agua proveniente de dos fuentes distintas, la primera una fuente superficial natural que

presentó condiciones de turbiedad y color distintas en las muestras extraídas de ella, y la otra fue agua preparada en el laboratorio a la que se le aplicó diferentes cantidades de arcilla.

Tabla 1. Operacionalización de variables

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicador | Unidades |
|---|--|---|-----------------------------------|---------------------------------|--|
| Variable independiente: Niveles de turbiedad y color aparente iniciales | Para Arboleda (2001) el número, concentración y masa de las partículas, así como su tamaño, forma e índice de refracción, influyen la turbiedad y color aparente de una suspensión. | Tener diferentes valores de turbiedad y color aparente iniciales | Concentración | Turbidez | NTU |
| | | | | Color aparente | Unidades de color aparente Pt-Co |
| Variable independiente: Dosis de Coagulante a partir de la molienda de la semilla <i>Prunus pérsica</i> S "Salcaja" | La dosis de coagulante a base de la molienda de semilla <i>Prunus Pérsica</i> S "Salcajá" actúa como coagulante, ayudando al proceso de asentamiento de materiales coloidales en suspensión. | Determinar la concentración de molienda producida a partir de la semilla de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | Concentración | Concentración de coagulante | Gramos |
| | | | | Turbidez | NTU |
| | | | | Color aparente | Unidades de color aparente Pt-Co |
| | | | | pH | Unidades de pH |
| Variable dependiente: Concentración final de turbiedad. | La turbiedad es un parámetro físico que determinan la calidad del agua. | Medir los valores de, turbiedad en el agua antes y después de la aplicación de la dosis de coagulante, para analizar el comportamiento. | Análisis físico de turbiedad | % de remoción de turbiedad | $\left(\frac{\text{valor inicial} - \text{valor residual}}{\text{valor inicial}}\right) * 100$ |
| Variable dependiente: Concentración final de color aparente | El color es un parámetro físico que determina la calidad del agua. | Medir los valores de color aparente en el agua antes y después de la aplicación de la dosis de coagulante, para analizar el comportamiento. | Análisis físico de color aparente | % de remoción de color aparente | $\left(\frac{\text{valor inicial} - \text{valor residual}}{\text{valor inicial}}\right) * 100$ |

La tabla 2 muestra la ubicación geográfica de los puntos de muestreo de agua cruda para el desarrollo de los bloques del 1 al 3.

Tabla 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

| Bloque | Coordenadas | | Descripción |
|--------|-------------|------------|---|
| | Latitud | Longitud | |
| 1 | 14° 47.61' | 91° 28.18' | Parte alta del río Samalá, turicentro Chicovix, Cantel, Quetzaltenango. |
| 2 | 14° 52.66' | 91° 29.59' | Río Xequijel, aldea San José Chiquilajá, Quetzaltenango |
| 3 | 14° 49.80' | 91° 27.54' | Río Samalá, aldea Paxaj Cantel, Quetzaltenango |

Para los bloques 4, 5 y 6 se utilizó agua del grifo con inclusiones de arcilla, la cual fue pesada, mezclada y distribuida en los vasos precipitados. Al bloque 4 se le aplicaron 0.75 g/l., equivalente a una turbiedad de 168 NTU y color de 878 UPt-Co; en el bloque 5 se aplicó 1.90 g/l., equivalente a una turbiedad de 337 NTU y de color de 1,656 UPt-Co; al bloque 6 se aplicó una cantidad de arcilla de 3.80 g/l., equivalente a una turbiedad de 623 NTU y de color de 2,250 UPt-Co.

Instrumentos y técnicas de obtención de información

Los instrumentos de recolección constan de tablas de identificación de muestras, equipo de laboratorio como: 1) turbidímetro HACH 2100N IS; 2) espectrofotómetro

HACH DR3900; 3) medidor de pH Hanna HI9811-5; 4) agitador de 6 jarras programable marca Phipps & Bird.

El análisis de los parámetros se realizó conforme a lo descrito en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21 edición, específicamente con los métodos: 1) 2120 C método espectrofotométrico para determinación de color; 2) 2130 B método nefelométrico para determinación de turbiedad; 3) método 4500-H⁺ valor de pH (APHA-AWWA-WEF, 2005). Para la prueba de jarras se utilizó la norma ASTM D 2035-08, práctica estándar para prueba de jarras con proceso coagulación-floculación.

Obtención del coagulante natural utilizado para el estudio

Para obtener el coagulante natural a base de semillas de durazno de la variedad Salcajá, se ubicó un lugar en la aldea Santa Riga del municipio de Salcajá, departamento de Quetzaltenango, Guatemala. En este lugar mucho de este fruto cae al suelo, por lo que se aprovechó esta condición para poder utilizarlo para el estudio. Otra fuente de suministro de semillas fue en las áreas de producción de dulces típicos, pastelerías y mercados que venden este tipo de fruto dentro de esta misma localidad.

Al extraer las semillas se pudo encontrar que la calidad de la semilla variaba en función a la calidad del endocarpio, siendo las semillas que poseen el endocarpio negro, una semilla de mala calidad. Las semillas de mala calidad no tienen peso, mientras que las semillas de buena calidad presentan un peso de 0.20 gramos, las semillas de excelente calidad presentan un peso de 0.60 gramos, la variación del peso se debe al contenido de aceite, proteínas y humedad que posee la semillas.

Al recolectar semillas se obtuvo un 86 % de semillas útiles mientras que el 6% son semillas deshidratadas y el 8% son semillas destruidas. De 180 semillas recolectadas se logró obtener 41.30 gramos de materia prima para la preparación del coagulante.

Preparación del coagulante

Extracción de cotiledones: el objetivo de este proceso fue extraer el cotiledón del endocarpio. El método más práctico es el uso de martillo (método mediante impacto), debido a que el método de corte destruye el cotiledón y demora más tiempo para separar los fragmentos del endocarpio y del cotiledón.

El coagulante natural se preparó a partir de una molienda extraída de la semilla del durazno. Esta molienda se preparó en dos etapas:

Primera etapa: rallado de la semilla con un rayador de cocina, lográndose con ello una molienda no muy fina, lo cual permitió que el calor se distribuyera de mejor manera. Se separó el tegumento. A la molienda obtenida, se le aplicó calor constante a 80°C durante 60 minutos con una estufa.

Segunda etapa: con un matraz de laboratorio se procedió a moler el material base para el coagulante. La molienda obtenida se tamizó con un tamiz fino de un milímetro, dejándola reposar por 24 horas previo a su disolución en agua destilada hirviendo.

Concentración utilizada: Para una concentración al 1% se trabajaron 2.5 gramos de coagulante natural a base de la molienda de *Prunus pérsica* S “Salcajá” disueltos en 250 mililitros de agua destilada hirviendo, según procedimiento de OPS/CEPIS (2004a), quien menciona que las mejores condiciones para la remoción de turbiedad se dan en soluciones bastante diluidas por lo que recomiendan soluciones del 1 al 2%.

Disolución: El coagulante se disolvió en agua destilada hirviendo, siguiendo el procedimiento de Barbarán et al. (2017). También se dejó reposar por algunos minutos dentro de la campana de extracción, esto debido a los posibles gases que pudieran existir al disolver el coagulante.

Preparación de prueba de jarras

Se agitó la muestra y se midió con una probeta la cantidad de agua, seguidamente fue colocada en la jarra utilizando 700 mililitros y consecuentemente se colocó en el agitador. La dosis para cada repetición fue de 30 mg/l, 70 mg/l, y 140 mg /l a una concentración del 1%. Los parámetros considerados para el análisis fueron los siguientes: a) mezcla rápida en un gradiente de velocidad de 110 s⁻¹ por 1 minuto simulando canaleta Parshall; b) floculación en un gradiente de velocidad de 34 s⁻¹ por 10 minutos; y c) tiempo de sedimentación de 15 minutos.

Se realizó la mezcla rápida y se esperaron los tiempos de floculación y sedimentación; se analizaron los parámetros de turbiedad, color y potencial de hidrógeno previo a la realización de la prueba y después de la prueba, cuando el color de las pruebas excedió el rango

de lectura del espectrofotómetro (500 UPt-Co) se trabajaron diluciones siendo estas: 1) dilución 1/4 (una parte de 25 mililitros de muestra en 3 partes de 25 mililitros de agua destilada); 2) dilución 1/10 (una parte de 10 mililitros de muestra en 9 partes de 10 mililitros de agua destilada).

Los gradientes de velocidad descritos en el párrafo anterior fueron obtenidos por la ecuación (1) descrita por OPS/CEPIS (2004b).

$$G'x = G \sqrt{\frac{V_1}{V_2}} \quad (1)$$

Donde G es el gradiente de velocidad producido por el equipo normalmente utilizado (Phipps & Bird) y vasos de 2 litros de capacidad; V₁ es el volumen del recipiente para un gradiente (G) que normalmente es de 2 litros.; y V₂ es el volumen para el cual se desea determinar el nuevo gradiente de velocidad (G'x).

Método de análisis de datos

Para Mendoza y Bautista (2002) citados por Racancoj (2021) el diseño del modelo lineal esta dado por la ecuación (2) que involucra a la media global de los tratamientos (μ), al efecto del i-ésimo tratamiento el cual debe ser constante para todas las observaciones (τ_i), al efecto del j-ésimo bloque (B_j), al error aleatorio (ε_{ij}) el cual se distribuye normal e independiente con media 0 y varianza σ_s².

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

$$\left. \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, b \end{matrix} \right\}$$

El ANOVA de dos factores permite estudiar cómo influyen por si solos cada uno de los factores sobre la variable dependiente (modelo aditivo), las hipótesis planteadas en el experimento se plantean de la siguiente forma:

Hipótesis para las dosis aplicadas de coagulantes:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k = \mu$$

H₀=las medias de todos los tratamientos son iguales

H_a=μ_i≠μ_j para algún i≠j

H_a= Existen al menos un par de pruebas diferentes

Hipótesis para los niveles turbiedad y color aparente iniciales:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k = \mu$$

H₀= el porcentaje de remoción promedio es el mismo en todos los niveles de turbiedad y color aparente iniciales

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

H_a= En al menos un par de niveles de turbiedad y color aparente iniciales el porcentaje de remoción promedio es diferente.

Para poder concluir con las hipótesis es necesario el arreglo de la tabla 3 y la construcción de la tabla ANOVA para dos factores, la cual se presenta en la Tabla 4.

Tabla 3. Arreglo de datos

| Tratamiento | Bloque | | | | |
|-------------|------------------|------------------|------------------|-----|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | ... | b |
| 1 | Y ₁₋₁ | Y ₁₋₂ | Y ₁₋₃ | ... | Y _{1-b} |
| 2 | Y ₂₋₁ | Y ₂₋₂ | Y ₂₋₃ | ... | Y _{2-b} |
| 3 | Y ₃₋₁ | Y ₃₋₂ | Y ₃₋₃ | ... | Y _{3-b} |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| k | Y _{k-1} | Y _{k-2} | Y _{k-3} | ... | Y _{k-b} |

Fuente: Elaboración propia basado en Mendoza y Bautista (2002).

Tabla 4. Tabla ANOVA para dos factores

| Fuente de variabilidad | Suma de cuadrados | Grado de libertad | Cuadrado medio | F ₀ | Valor-p |
|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|--------------|
| Tratamientos | SC _{TRAT} | k - 1 | SM _{TRAT} | $F_0 = \frac{SC_{TRAT}}{SM_E}$ | $P(F > F_0)$ |
| Bloques | SC _B | b - 1 | SM _B | $F_0 = \frac{SM_B}{SM_E}$ | $P(F > F_0)$ |
| Error | SC _E | (k - 1)(b - 1) | SM _E | | |
| Total | SC _T | N - 1 | | | |

Fuente: Elaboración propia basado en Mendoza y Bautista (2002).

Las ecuaciones 3,4,5 y 6 muestran la obtención de los parámetros de la tabla ANOVA según procedimiento de Mendoza y Bautista (2002), utilizando el arreglo de la tabla 3.

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT} - SC_B \quad (3)$$

$$SC_T = \sum_{j=1}^b \cdot \sum_{i=1}^k Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N} \quad (4)$$

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{b} - \frac{Y_{..}^2}{N} \quad (5)$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}^2}{k} - \frac{Y_{..}^2}{N} \quad (6)$$

De acuerdo con Racancoj (2021) “cuando en el modelo existen diferencias significativas, el valor p es menor a 0.05 y p es igual a $P(F - F_0)$ utilizando alguna prueba de comparación múltiple de medias (prueba post ANOVA) para encontrar el mejor tratamiento”.

La prueba de Tukey permite comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras sometidas a tratamientos distintos (Racancoj, 2021). Para aplicar esta prueba se calculó el w llamado comparador de Tukey cuya definición se define la ecuación (7).

$$w = q * \sqrt{\frac{MSE}{r}} \quad (7)$$

El factor q de la ecuación anterior se obtiene de una tabla de Tukey, en la que se encuentran en las filas valores de q para diferentes cantidades de tratamientos o experimentos. En las columnas de esta tabla de Tukey se obtiene el valor de factor q para diferentes grados de libertad. Normalmente las tablas de Tukey disponibles tienen significancias relativas de 0.05 y 0.01.

En la ecuación 7 el MSE es el cuadrado medio del error el cual puede determinarse del análisis de varianza, y r indica el número de repeticiones.

En este análisis si se obtienen diferencias entre sus valores medios que sobrepasen el valor w (comparador de Tukey), se concluye que se trata de promedios diferentes, pero si la diferencia es menor que el número de Tukey, entonces se trata de dos muestras con valor promedio estadísticamente idéntico (Racancoj, 2021).

Resultados

En las tablas 5 a 10 se presentan los resultados de turbiedad y color aparente obtenidos en cada una de las 6 repeticiones (bloques) del experimento realizado luego de aplicar las dosis de coagulante indicadas en la primera columna de estas tablas.

Tabla 5. Valores de turbiedad y color aparente obtenidos para la repetición 1 del experimento

| Tratamiento aplicado | Turbiedad NTU | Color aparente Unidades de Pt-Co | pH |
|--|---------------|----------------------------------|------|
| Parámetros iniciales de agua cruda | 3.64 | 40.00 | 6.21 |
| Sin aplicación de coagulante | 2.86 | 57.00 | 6.19 |
| 30 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 2.05 | 37.00 | 6.19 |
| 70 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 2.37 | 39.00 | 6.15 |
| 140 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 3.38 | 64.00 | 6.23 |

Tabla 6. Valores de turbiedad y color aparente obtenidos para la repetición 2 del experimento

| Tratamiento aplicado | Turbiedad NTU | Color aparente Unidades de Pt-Co | pH |
|--|---------------|----------------------------------|------|
| Parámetros iniciales de agua cruda | 27.00 | 234.00 | 7.40 |
| Sin aplicación de coagulante | 16.10 | 148.00 | 7.30 |
| 30 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 18.40 | 186.00 | 7.30 |
| 70 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 25.80 | 237.00 | 7.20 |
| 140 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 32.30 | 285.00 | 7.00 |

Tabla 7. Valores de turbiedad y color aparente obtenidos para la repetición 3 del experimento

| Tratamiento aplicado | Turbiedad NTU | Color aparente Unidades de Pt-Co | pH |
|--|---------------|----------------------------------|------|
| Parámetros iniciales de agua cruda | 28.00 | 236.00 | 7.20 |
| Sin aplicación de coagulante | 7.16 | 109.00 | 7.10 |
| 30 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 10.06 | 120.00 | 7.10 |
| 70 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 16.50 | 160.00 | 6.90 |
| 140 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 20.30 | 180.00 | 6.90 |

Tabla 8. Valores de turbiedad y color aparente obtenidos para la repetición 4 del experimento

| Tratamiento aplicado | Turbiedad NTU | Color Unidades de Pt-Co | pH |
|--|---------------|-------------------------|------|
| Parámetros iniciales de agua cruda | 168.00 | 878.00 | 7.60 |
| Sin aplicación de coagulante | 52.80 | 429.00 | 7.40 |
| 30 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 37.30 | 395.00 | 7.20 |
| 70 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 45.50 | 462.00 | 7.30 |
| 140 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 53.10 | 524.00 | 7.30 |

Tabla 9. Valores de turbiedad y color aparente obtenidos para la repetición 5 del experimento

| Tratamiento aplicado | Turbiedad NTU | Color Unidades de Pt-Co | pH |
|--|---------------|-------------------------|------|
| Parámetros iniciales de agua cruda | 337.00 | 1,656.00 | 7.50 |
| Sin aplicación de coagulante | 93.50 | 888.00 | 7.40 |
| 30 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 51.10 | 500.00 | 7.30 |
| 70 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 65.90 | 800.00 | 7.30 |
| 140 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 63.00 | 612.00 | 7.20 |

Tabla 10. Valores de turbiedad y color aparente obtenidos para la repetición 6 del experimento

| Tratamiento aplicado | Turbiedad NTU | Color Unidades de Pt-Co | pH |
|--|---------------|-------------------------|------|
| Parámetros iniciales de agua cruda | 623.00 | 2,250.00 | 7.50 |
| Sin aplicación de coagulante | 130.00 | 1,312.00 | 7.40 |
| 30 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 76.30 | 860.00 | 7.20 |
| 70 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 93.90 | 980.00 | 7.10 |
| 140 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 89.70 | 1,072.00 | 7.00 |

En las tablas 11 y 12 se presentan los porcentajes de remoción de las 6 repeticiones (bloques) según el arreglo para la tabla ANOVA presentado en la tabla 3 para la remoción de turbiedad y color aparente.

Tabla 11. Porcentaje de remoción de turbiedad para cada una de las repeticiones realizadas en el experimento

| Tratamientos | % de remoción | | | | | |
|---|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| Sin tratamiento | 21.43 | 40.37 | 74.43 | 68.57 | 72.26 | 79.13 |
| 30 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 43.68 | 31.85 | 64.07 | 77.80 | 84.84 | 87.75 |
| 70 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 34.89 | 4.44 | 41.07 | 72.92 | 80.45 | 84.93 |
| 70 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 7.14 | 0.00 | 27.50 | 68.39 | 81.31 | 85.60 |

Tabla 12. Porcentaje de remoción de color aparente para cada una de las repeticiones realizadas en el experimento

| Tratamientos | % de remoción | | | | | |
|--|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| Sin tratamiento | 0.00 | 36.75 | 53.81 | 50.80 | 46.38 | 41.69 |
| 30 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 7.50 | 20.51 | 49.15 | 54.70 | 66.18 | 61.78 |
| 70 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 2.50 | 0.00 | 32.20 | 47.02 | 51.69 | 56.44 |
| 140 mg/l de coagulante a base de <i>Prunus pérsica</i> S "Salcajá" | 0.00 | 0.00 | 23.73 | 39.91 | 63.04 | 52.36 |

La siguiente tabla muestra las pruebas de efectos-inter sujetos cuya variable dependiente es el porcentaje de remoción y se relacionan con los tratamientos y niveles de turbiedad inicial.

Tabla 13. Análisis de varianza para los porcentajes remoción de turbiedad y niveles de turbiedad inicial

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------|-------------------------------|----|------------------|-------|------|
| Modelo | 9,0955.12 | 9 | 10106.12 | 69.34 | 0.00 |
| Tratamiento | 1,327.45 | 3 | 442.48 | 3.03 | 0.06 |
| Turbiedad | 15,388.32 | 5 | 3077.66 | 21.11 | 0.00 |
| Error | 2,186.14 | 15 | 145.74 | | |
| Total | 93,141.27 | 24 | | | |

Mediante las pruebas post hoc bajo el criterio de Tukey se determinó aquellos tratamientos y bloques que

representen una diferencia significativa los cuales se muestran en las tablas 14 y 15.

Tabla 14. Prueba de Tukey para dosis de coagulante natural

| Dosis de tratamiento | N | Subconjunto | |
|---|---|-------------|--|
| | | 1 | |
| 140 mg/l Coagulante natural a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 6 | 44.99 | |
| 70 mg/l Coagulante natural a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 6 | 53.11 | |
| Sin tratamiento | 6 | 59.36 | |
| 30 mg/l Coagulante natural a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 6 | 64.99 | |
| Sig. | | 0.05 | |

Tabla 15. Prueba de Tukey para los bloques de niveles de turbiedad inicial

| Turbiedad | N | Subconjunto | | | |
|-----------|---|-------------|------|-------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 27 NTU | 4 | 19.16 | | | |
| 3.64 NTU | 4 | 26.78 | | 26.78 | |
| 28 NTU | 4 | 51.76 | | 51.76 | |
| 125 NTU | 4 | 71.92 | | 71.92 | |
| 337 NTU | 4 | 79.71 | | 79.71 | |
| 623 NTU | 4 | 84.35 | | 84.35 | |
| Sig. | | 0.94 | 0.09 | 0.23 | 0.69 |

La tabla 16 muestra las pruebas de efectos-inter sujetos cuya variable dependiente es el porcentaje de remoción, y se relaciona con los tratamientos y niveles de color inicial.

Las tablas 17 y 18 describen las pruebas post hoc bajo el criterio de Tukey determinado aquellos tratamientos o bloques de color aparente que son significativos.

Tabla 16. Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de color y niveles de color aparente

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|----------------|-------------------------------|----|------------------|-------|------|
| Modelo | 41,283.64 | 9 | 4,587.07 | 45.98 | 0.00 |
| Tratamiento | 690.30 | 3 | 230.10 | 2.30 | 0.11 |
| Color Aparente | 9,909.82 | 5 | 1,981.96 | 19.86 | 0.00 |
| Error | 1,496.35 | 15 | 99.75 | | |
| Total | 42,779.99 | 24 | | | |

Tabla 17. Prueba de Tukey para dosis de coagulante

| Dosis de tratamiento | N | Subconjunto | |
|---|---|-------------|--|
| | | 1 | |
| 140 mg/l Coagulante natural a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 6 | 29.84 | |
| 70 mg/l Coagulante natural a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 6 | 31.64 | |
| Sin tratamiento | 6 | 38.23 | |
| 30 mg/l Coagulante natural a base de <i>Prunus pérsica</i> S “Salcajá” | 6 | 43.30 | |
| Sig. | | 0.13 | |

Tabla 18. Prueba de Tukey para los bloques de niveles de color aparente

| Rangos de color aparente evaluados | N | Subconjunto | |
|------------------------------------|---|-------------|------|
| | | 1 | 2 |
| 40 UPt-Co | 4 | 2.50 | |
| 234 UPt-Co | 4 | 14.31 | |
| 236 UPt-Co | 4 | 39.72 | |
| 872 UPt-Co | 4 | 48.10 | |
| 2,250 UPt-Co | 4 | 53.06 | |
| 1,656 UPt-Co | 4 | 56.82 | |
| Sig. | | 0.56 | 0.21 |

Discusión de resultados

En esta sección se describe los resultados alcanzados con la aplicación de los tratamientos con dosis de coagulante de 30 mg/l, 70 mg/l, 140 mg/l y sin aplicación de coagulante a base de la molienda de la semilla *Prunus pérsica* S “Salcajá”, así como su relación con los parámetros de turbiedad, color y la diferencia significativa de los tratamientos.

El análisis de varianza ANOVA de la tabla 13 para el porcentaje de remoción en turbiedad evidencia que no existe diferencia significativa en los tratamientos. Al cumplirse la hipótesis nula de que todas las medias de los tratamientos son iguales debido a que el valor p (p=0.06) es mayor al valor de comparación 0.05, se interpreta que el coagulante natural a base de molienda de durazno no funciona logra remociones significativas debido a que las medias de sus resultados son iguales y esta igualdad incluye al tratamiento que no lleva coagulante, por lo que puede concluirse que el comportamiento del coagulante a base de molienda de durazno en las distintas concentraciones ensayadas es similar al tratamiento que no se le aplicó coagulante. Cabe mencionar que esta igualdad de medias se da en un rango de tratamientos de turbiedades de 3 UNT a 623 UNT, demostrando la poca afinidad del coagulante con las turbiedades bajas debido a la falta de coloides para la formación de floc, por lo que este efecto repercute en el análisis ANOVA general del coagulante natural.

El análisis ANOVA de la tabla 13 también evidencia que, si existe diferencia significativa dentro de los bloques con niveles de turbiedad diferentes, pues el valor p (0.00) es menor a 0.05 esto se interpreta que existe al menos un nivel de turbiedad que presenta diferencia significativa en su tratamiento cumpliéndose la hipótesis alternativa.

Un resultado similar se obtiene al aplicar el criterio de Tukey para los 4 tratamientos, donde se pudo comprobar con base en los resultados mostrados en la tabla 14, que todos los tratamientos se encuentran en un subconjunto, por lo cual no existe ningún tratamiento que se encuentre fuera del mismo y que represente una diferencia significativa. A pesar de esto es importante observar que el tratamiento con dosis de 30 mg/l., de coagulante natural a base de durazno, presenta la mejor remoción con un 64.99 % de eficiencia.

En la tabla 14 también se puede observar que, al no aplicar coagulante, se obtiene un porcentaje de remoción turbiedad del 59.36 %. Esta remoción es efecto de partículas discretas definidas por CEPIS/OPS (2004a) como las partículas que no cambian su forma, tamaño, densidad durante su precipitación. De acuerdo con este mismo autor, a este tipo de sedimentación se le denomina sedimentación simple.

Para el caso de los bloques de niveles de turbiedad inicial la diferencia fue significativa generando cuatro subconjuntos homogéneos (ver tabla 15), del cual el mejor tratamiento se da en el bloque con turbiedad de 623 NTU con un 84.35 % de eficiencia de remoción. Al analizar la tabla 15 se puede observar que las mejores eficiencias empiezan a partir de turbiedades de 125 NTU.

El análisis de varianza ANOVA presentado en la tabla 16 para el porcentaje de remoción en color aparente evidencia que no existe diferencia significativa de los tratamientos al cumplirse la hipótesis nula de que todas las medias de los tratamientos son iguales debido a que el valor p (0.11) es mayor al valor de comparación 0.05. Del análisis anterior, se observa que el coagulante natural a base de molienda de durazno no alcanza remociones significativas comparado con el tratamiento que no se le aplicó coagulante, por lo que los tratamientos no ejercerían un efecto significativo al del tratamiento sin coagulante.

Cabe mencionar que esta igualdad de medias obtenidas en el estudio se presenta en un rango de tratamientos de

color de 40 a 2,250 UPt-Co evidenciando que el color inicial que posee el coagulante modifica el color aparente del tratamiento cuando las dosis de color a reducir son bajas; este efecto repercute en el ANOVA general del coagulante.

A través de los resultados mostrados en la tabla 16 se puede rechazar la hipótesis nula, dado que los niveles de color aparente de los bloques presentan un valor de $p < 0.05$, lo que implica que la remoción del coagulante varía en función de los bloques, existiendo bloques en donde el tratamiento ejerce una mejor remoción.

El criterio de Tukey para los tratamientos en la remoción de color aparente, evidencia que todos los tratamientos se encuentran en un subconjunto por lo cual no existe algún tratamiento que se encuentre fuera de mismo y que represente una diferencia significativa, sin embargo, en la tabla 18 se observa que el tratamiento de 30 mg/l. de coagulante natural a base de *Prunus pérsica* S “Salcajá”, presentó la mejor remoción de color aparente con un 43.30 % de eficiencia. Para el caso de los bloques de color aparente al aplicar de nuevo el criterio de Tukey, se evidenciaron dos subconjuntos homogéneos, pero del cual el mejor tratamiento se da en el bloque con color aparente de 1,656 UPt-Co en el que se obtiene una eficiencia de remoción de 84.35 %.

Al analizar la tabla 19 se puede observar que las mejores eficiencias se dan en los tratamientos que tienen color aparente de 872 Upt-Co para arriba, y que no necesariamente el mejor porcentaje de remoción se da en el bloque de mayor color aparente inicial.

En relación con la remoción de turbiedad y color aparente con coagulantes naturales, las semilla de *Prunus pérsica* S “Salcajá” obtuvo un porcentaje de remoción de turbiedad de 64.99% y de color aparente de 43.30%, no alcanzando la eficiencia que reportó el estudio de semilla de tamarindo realizado por Álvarez (2017), quien obtuvo un porcentaje de remoción de color aparente de 49.70%.

El porcentaje de remoción obtenido por Álvarez (2017) fue obtenido utilizando un volumen de jarra de 1,000 litros, para mezcla rápida utilizó un gradiente de velocidad de 98 s^{-1} durante un minuto, y un gradiente de velocidad para mezcla lenta de 28 s^{-1} durante 20 minutos. Los gradientes los obtuvo tomando en cuenta la expresión para gradientes de velocidad de

CEPIS/OPS (2004b) con un tiempo de sedimentación de 30 minutos.

El porcentaje de remoción obtenido por la semilla *Prunus pérsica* S “Salcajá” es inferior en un 2.81% en remoción de turbiedad y en 6.40% en remoción de color aparente comparado con la semilla de tamarindo, teniendo en cuenta que el gradiente de velocidad para mezcla rápida utilizado para evaluar el coagulante de la semilla *Prunus pérsica* S “Salcajá”, aumentó 11s^{-1} en mezcla rápida y 6s^{-1} en mezcla lenta. Otro parámetro que varió fue el tiempo de sedimentación el cual fue de 30 minutos para la evaluación del coagulante de semilla de tamarindo y de 15 minutos para la evaluación del coagulante de semilla de *Prunus pérsica* S “Salcajá”. Considerando que la semilla de tamarindo tuvo el doble de tiempo de sedimentación la semilla de *Prunus pérsica* S “Salcajá” podría mejorar sus resultados si se aumenta el tiempo de sedimentación porque podrían terminar de sedimentar aquellas partículas floculentas al tener un mayor tiempo de sedimentación, considerando lo indicado por Romero (1999), quien expresa que la remoción de partículas floculentas está en función del tiempo de retención.

La semilla de *Prunus pérsica* S Salcajá con un porcentaje de remoción de turbiedad de 64.99% supera a la semilla de moringa estudiada por Turcios (2019), la cual alcanzo un porcentaje de remoción del 55%. En la publicación del autor anterior no se analizó color y utilizó un volumen de 2 litros para mezcla rápida un gradiente de velocidad de 70s^{-1} durante un minuto, un gradiente de velocidad para mezcla lenta de 20s^{-1} durante 15 minutos, y el tiempo de sedimentación fue de 15 minutos. Los gradientes utilizados por este autor se obtuvieron de la gráfica para jarras circulares de 2 litros de CEPIS/OPS (2004b).

La remoción de turbiedad presentada por la semilla *Prunus pérsica* S “Salcajá” supera a la semilla de moringa en 9.99 %, aunque los gradientes de velocidad usados para mezcla rápida al aplicar el coagulante de *Prunus Pérsica* S “Salcajá” superan en 40s^{-1} y en mezcla lenta en 14s^{-1} a los utilizados por el estudio de la semilla de moringa. El tiempo de sedimentación en los dos estudios fue de 15 minutos, sin embargo, al variar el volumen de las jarras, existe una mayor columna de agua en las jarras de 2 litros respecto a una jarra de 1 litro. Para Romero (1999) la remoción de partículas floculentas está en función del tiempo de retención y de la profundidad, por lo tanto, podría existir una mejor remoción en la semilla de moringa si

se usan las condiciones evaluadas en la semilla *Prunus pérsica* S “Salcajá”.

Conclusiones

La semilla de *Prunus pérsica* S “Salcajá” es una alternativa como coagulante natural para la remoción de turbiedades mayores a 125 UNT. La prueba de Tukey presento eficiencias superiores al 71.92% a partir de este valor de turbiedad.

La semilla de *Prunus pérsica* S “Salcajá” no es una alternativa como coagulante natural para la remoción de color aparente debido al color blanquecino que se adquiere al producir el coagulante y al bajo porcentaje de remoción de color aparente que alcanza (53.60%) según la prueba de Tukey en el bloque de color aparente inicial de 2,250 Upt-Co.

Con turbiedades en un rango de 3.64 a 623 UNT bajo el criterio de Tukey, se obtiene una eficiencia media de remoción de turbiedad de 64.99% al utilizar el coagulante natural a base de la molienda de *Prunus pérsica* S “Salcajá” con una concentración de 30 mg/l. Para la concentración de color, el estudio realizado evidenció bajo el criterio de Tukey que se logra la mejor eficiencia de remoción de color en un rango de color inicial de 40 a 1,656 Upt-Co, alcanzando una remoción media de 43.30% al utilizar el coagulante natural a base de la molienda de *Prunus pérsica* S “Salcajá” con una concentración de 30 mg/l.

Referencias

- Álvarez, T. Y. (2017). Uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante natural para la remoción de turbiedad y color en el agua para potabilización. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, Vol.12(1), pp.39-45, ISSN 2222 2499.
- APHA-AWWA-WEF (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th Edition. New York.
- Arboleda, J. (2001). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. 3ra. edición, Colombia: McGraw-Hill.
- Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A., y Hossain, A. (2011). Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. (G. Olinger, Ed.) *ISRN Microbiology*. doi:10.5402/2011/632189
- Barbarán, H., López, J., y Chico, J. (2017). Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*Prunus*

- pérsica*) y palta (*Persea americana*). SAGASTEGUIANA, Vol. 5(1), pp.7- 16. ISSN 23095644.
- Bratskaya, S., Schwarz S., y Chervonetsky D., (2004) Comparative Study of Humic Acids Flocculation with Chitosan Hydrochloride and Chitosan Glutamate. *Water Research*, Vol.38 (12), pp.2955 –2961. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.03.033>.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Organización Panamericana de la Salud [CEPIS/OPS] (2004a). Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, Tomo 1. PUB/04.109, Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Organización Panamericana de la Salud [CEPIS/OPS] (2004b). Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, Tomo 2. PUB/04.109, Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Fernández, H. (2018). Fitorremediación mediante cotiledones de durazno (*Prunus pérsica*) para reducción de turbidez y *Escherichia coli* de aguas domésticas, distrito de Oyón. Universidad César Vallejo, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Lima, Peru.
- Martínez, E. (1987). El uso de fécula de maíz como una alternativa de ayuda en el proceso de coagulación del agua cuando se emplea el sulfato de aluminio. [Tesis de Maestría, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala.
- Mejía, J. (1986). La utilización de la semilla de la moringa Oleífera como coagulante natural. [Tesis de Maestría, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala.
- Mendoza, H., y Bautista, G. (2002). Diseño Experimental. Universidad Nacional de Colombia. Licencia: Creative Commons BY-NC-ND. Obtenido de: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/>.
- Moscozo, L. R. (2015). Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización. [Tesis de Maestría, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala.
- Organización Mundial de La Salud [OMS] (2018) Guías para la calidad del agua de consumo humano. Cuarta edición. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. ISBN 978-92-4- 354995-8.
- Racancoj, A.B (2021). Análisis del Uso de la molienda producida a partir de la semilla de durazno *Prunus Persica S* “Salcajá” como coagulante natural en el tratamiento de agua. [Tesis de Maestría, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala.
- Ramírez, H., y Jaramillo, J. (2014). Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Ingeniería Solidaria*, Vol. 10(17), pp.139. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.813>
- Rodríguez, J., Lugo, I., Rojas, A., y Malaver, C. (2007). Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral Científico*. Vol. 11, pp.8-16. ISSN 1692-3375.
- Romero, J. (1999). Potabilización del agua. Tercera edición. México DF: Alfaomega SA CV.
- Rondeau, V., Jacqmin Gadda, H., Commenges, D., Helmer, C., y Dartigues, J. F. (2009). Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort. *American Journal Epidemiology*, 169(4), 489 - 496. doi:10.1093/aje/kwn348.
- Sawyer, C., McCarthy, P., y Parkin, G. (2001). Química para la ingeniería ambiental, Cuarta edición. Colombia: McGraw-Hill. ISBN: 9584101641 9789584101648
- Turcios, E. (2019) Uso de semilla de moringa oleífera como coagulante natural en el tratamiento de agua para consumo humano. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, Vol.14(1), pp.39-45, ISSN 2222 2499.
- Vásquez, L. (2013). Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (*Eritrina americana*, *Quercus ilex*, *Acacia farnesiana*, *Viscum album* y *Senna candolleana*). *Naturaleza y desarrollo*, Vol.11(1). ISSN 2007-204X.