

Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de *Crotalaria longirostrata* y sulfato de aluminio

Coagulation of wastewater using a mixture of *Crotalaria longirostrata* powder and aluminum sulfate

Alicia Pastrana-Pacho¹, Rudy Solís-Silvan², Israel Ávila-Lázaro³, José Ramón Laines-Canepa⁴, Baltazar Sánchez-Díaz⁵

Fecha de recepción: 18 de diciembre, 2021
Fecha de aprobación: 30 de marzo, 2022

Pastrana-Pacho, A; Solís-Silvan, R; Ávila-Lázaro, I; Laines-Canepa, J.R; Sánchez-Díaz, B. Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de *Crotalaria longirostrata* y sulfato de aluminio. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 2. Abril-Junio, 2023. Pág. 135-142.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.6000>

- 1 Instituto Tecnológico Superior de Centla. México.
Correo electrónico: aliciapastrana10@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-8120-4341>
- 2 Tecnológico Nacional de México, Campus Comalcalco. México.
Correo electrónico: Rudy.solisilvan@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-6373-0893>
- 3 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.
Correo electrónico: rasrabond@gmail.com
- 4 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.
Correo electrónico: josra_2001@yahoo.com.mx
- 5 Tecnológico Nacional de México, Campus Comalcalco. México.
Correo electrónico: baltazar.sanchez@comalcalco.tecnm.mx

Palabras clave

Coagulante; floculación; turbiedad; color; prueba de jarras; agua residual.

Resumen

Los coagulantes naturales a base de plantas se han usado para el tratamiento de aguas desde tiempos remotos y son amigables con el medio ambiente. El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de remoción de turbiedad y color de una mezcla coagulante de polvo *Crotalaria longirostrata* y sulfato de aluminio vs sulfato de aluminio. Se evaluó la dosis óptima de sulfato de aluminio comercial y las mezclas coagulantes natural de polvo de *C. longirostrata* y sulfato de aluminio (tratamientos) que tuvieran la mayor remoción de turbiedad y color (variable respuesta) de un agua residual doméstica. Se utilizó un equipo de prueba de jarras marca Philes^{MR} para la determinación de las dosis óptimas de coagulantes. La turbiedad y color se midieron con un turbidímetro marca Lamote^{MR}. Se usó un diseño simple completamente aleatorizado de un factor y un análisis de varianza seguido de un contraste múltiple de Tukey para encontrar diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos. Las mezclas de polvo de *C. longirostrata* con sulfato de aluminio (75 mg/L de polvo de *C. longirostrata* + 175 mg/L de sulfato) removieron una mayor cantidad de turbiedad y color que la dosis óptima de sulfato de aluminio (250 mg/L), con remociones de 83.4% de turbiedad y 64.9% de color respectivamente. Los resultados lograron reducir un 30% el uso del sulfato de aluminio. El uso de polvo *C. longirostrata* como coadyuvante en la remoción de turbiedad y color no tiene efectos tóxicos ya que es un arbusto comestible.

Keywords

Coagulant; flocculation; turbidity; color; jar test; residual water.

Abstract

Natural plant-based coagulants have been used for water treatment since ancient times, and they are friendly with the environment. The objective of this work was to evaluate the turbidity and color removal capacity of a coagulant mixture of *Crotalaria longirostrata* powder and aluminum sulfate vs aluminum sulfate. The optimal dose of commercial aluminum sulfate (treatments) and the natural coagulant mixtures of *C. longirostrata* powder and aluminum sulfate were evaluated, that had the highest turbidity and color (independent variable) removal of a domestic wastewater. A Philes^{MR} brand jar test kit was used to determine optimal coagulant dosages. Turbidity and color were measured with a Lamote brand turbidimeter^{MR}. A simple one-factor completely randomized design was used and an analysis of variance followed by a multiple Tukey test to find statistically significant differences between the different treatments. Mixtures of *C. longirostrata* powder with aluminum sulfate (75 mg / L of *C longirostrata* powder + 175 mg / L of sulfate) removed a greater amount of turbidity and color than the optimal dose of aluminum sulfate (250 mg/L) with removals of 83.4% of turbidity and 64.9% of color respectively. The results managed to reduce the use of aluminum sulfate by 30%. The use of *C. longirostrata* powder as an aid in the removal of turbidity and color does not have toxic effects since it is an edible shrub.

Introducción

Los coagulantes químicos son sustancias de origen natural o artificial que se adicionan al agua para remover la carga orgánica, inorgánica y biológica, mediante la formación de productos insolubles que tienden a precipitar, eliminándole olor, color y turbiedad. Desde los años 70 en varios países latinoamericanos están utilizando coagulantes naturales a bases de diferentes especies vegetales locales para disminuir en parte o en su totalidad el consumo de coagulantes químicos [1]. En el proceso de coagulación / floculación, algunos productos químicos se utilizan como coagulantes primarios y neutralizan las partículas coloidales cargadas. El coagulante reduce la fuerza de repulsión presente entre las partículas coloidales y, por lo tanto, las partículas entran en contacto entre sí y forman pequeños flocúlos. En la naturaleza están presentes varios coagulantes eficaces que pueden usarse directamente o después de la modificación [2]. Se ha estudiado que los altos niveles de aluminio remanente en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública debido a que grandes cantidades pueden ser causante del síndrome del Alzheimer, así mismo menciona que investigaciones realizadas en Inglaterra muestran que el riesgo de contraer esta enfermedad es 1.5 veces mayor en los sitios donde las concentraciones de aluminio exceden los 0.110mg/l [3].

Los coagulantes de origen vegetal (PCB) se utilizan en el tratamiento de agua pero no son eficaces a escala industrial debido a su mayor costo en comparación con los coagulantes sintéticos[2]. Estos coagulantes son más efectivos en el tratamiento de aguas residuales, que tienen un rango de turbidez bajo o medio (50-500 NTU). Los bio-floculantes naturales o utilizados en el tratamiento de aguas residuales se aíslan de diversas fuentes naturales. Estos coagulantes se utilizan como coagulantes / floculantes primarios o auxiliares en el proceso de coagulación / floculación. Estos son económicos y también se utilizan como coagulantes / floculantes alternativos. La mejora de muchos parámetros en las aguas residuales tratadas es la función principal de los coagulantes-biocoagulantes o coagulantes naturales son ciertamente seguros, amigables con el ambiente y libres de toxicidad (bajo condiciones adecuadas de uso). Sus compuestos bioactivos son proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides [4]. En la actualidad se buscan mezclas de ambos tipos (sintéticos y naturales), entre los coagulantes naturales que se han utilizado se tiene referencias de *Moringa oleifera* y *Benincasa hispida* [5], *Mangifera indica* L [6], *Moringa Oleifera* -*Cactus Opuntia*- mezcla de alumbre [7], efluente del molido para la obtención del aceite de palma con el *Aloe Vera* [8] *Tamarindo* (*Tamarindus Indica*) [9].

A pesar de los avances de los polímeros naturales, las plantas de tratamientos siguen utilizando polímeros sintéticos a pesar de las consecuencias a la salud y contaminación los ecosistemas. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la capacidad de remoción de turbiedad y color en aguas residuales mediante la aplicación de una mezcla de polvo de *Crotalaria longirostrata* (Chipilin) y sulfato de aluminio, para el tratamiento de aguas residuales. En base a los resultados obtenidos se pueden realizar propuestas para ser utilizado en las plantas de tratamientos de aguas residuales municipales buscando disminuir la dosis de sulfato de aluminio.

Materiales y métodos

Caracterización del Agua Residual

La muestra de agua residual a utilizar se tomó del biodigestor principal del Instituto Tecnológico Superior de Centla, en donde se recolectó un volumen de 100 litros siendo depositados en contenedores de 200 litros cada uno. El análisis de las aguas se realizó en el laboratorio del Instituto Tecnológico superior de Comalcalco, donde se midieron los parámetros fisicoquímicos

de turbiedad y color. Con el uso de un turbidímetro marca Hanna HI 93703 con precisión 0.01 NTU-turbiedad por el método EPA 180.1 (EPA 1983, NOM-041-SSA1 1993, ISO 1990) se midió la turbiedad. El color fue medido con el mismo equipo con una precisión 0.1 CU-color por el método estándar 2120B. Los parámetros iniciales del agua cruda residual fueron de: turbiedad de 167.7 NTU y color 657 U.C

Obtención del Sustrato de *C. Longirostrata*

El *C. Longirostrata* se obtuvo 1 kg de hojas frescas, mismas que fueron colocadas en charolas de aluminio para ser secadas a temperatura ambiente en un tiempo aproximado de 2 semanas, siguiendo la metodología propuesta por [10]. Siendo trituradas por un mortero y posteriormente tamizadas en malla de plástico para dejar homogénea el tamaño de las partículas, se enfrascó en botellas de plástico de tereftalato de polietileno (acrónimo en inglés, PET). En la figura 1 se presenta la fotografía del polvo del *C. longirostrata* obtenido por microscopía de barrido.

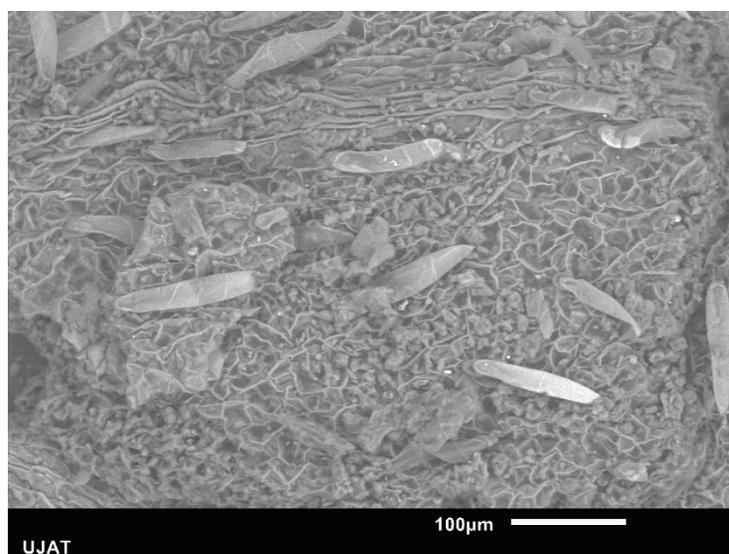


Figura 1. Corpúsculos de *C. longirostrata* obtenida en microscopio de barrido.

Se prepararon dos soluciones de referencia. Para la solución del sulfato de aluminio se pesaron 2 g de sulfato de aluminio (J.T. Baker, Nueva Jersey, EUA) con un grado de pureza del 98.5 % y se disolvieron en un litro de agua destilada. De la misma forma, se preparó la solución de referencia del polvo de la *C. longirostrata*, pesando 2 g y disolviendo en un litro de agua destilada [11]

Procedimientos de Coagulación-Floculación

Se realizan ensayos de jarras, para las diferentes concentraciones del coagulante a ensayar. Se toma como base la concentración óptima del sulfato de aluminio comercial (30 mg/L) (tratamiento 1), se prepararon las mezclas *C.longirostrata* -sulfato en las proporciones de concentración siguientes; 2:28 mg/L (tratamiento 2); 4:26 (tratamiento 3); 6:24 (tratamiento 4); 8:22 (tratamiento 5); 10:20 (tratamiento 6) y 12:18 (tratamiento 7). Las velocidades de mezclado y de sedimentación durante la prueba de jarras con las mezclas coagulantes, se realizan de la misma manera que como se obtuvo la dosis óptima del sulfato de aluminio comercial, con la diferencia que primero se agregan las concentraciones de sulfato de aluminio en la mezcla rápida y durante la mezcla lenta se agregaron las concentraciones del *C. longirostrata*. Al final del experimento a cada mezcla se le midieron los parámetros de caracterización de la calidad del agua (turbiedad, color, pH y temperatura).

Análisis Estadístico

Se utilizó un análisis de varianza para encontrar diferencias estadísticas significativas entre el coagulante sulfato de aluminio y las mezclas de polvo de *C. longirostrata* y sulfato de aluminio. Se llevó a cabo un contraste múltiple de medias de Tukey para ver que tratamientos eran diferentes entre sí.

Resultados

Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio para la remoción de Turbiedad

El análisis de varianza de una vía muestra que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los promedios de la variable turbiedad (NTU) del agua residuales, bajo los efectos diferentes tratamientos de dosis de sulfato de aluminio evaluadas (0, 100S.A, 150S.A, 200S.A, 250S.A y 300S.A) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medias de Tukey, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). El tratamiento que mostro el valor promedio más bajos de turbiedad (NTU) fue el 250S.A con 9.92 ± 1.28 , seguido por los tratamientos 300S.A y 200S.A con promedios de 14.47 ± 0.69 , 18.07 ± 1.09 respectivamente. Los valores promedios más altos de turbiedad se apreciaron en los tratamientos 0, 100S.A y 150S.A con 47.4 ± 3.09 , 28.9 ± 2.19 y 21.4 ± 1.93 respectivamente, como se puede apreciar en la figura 2.

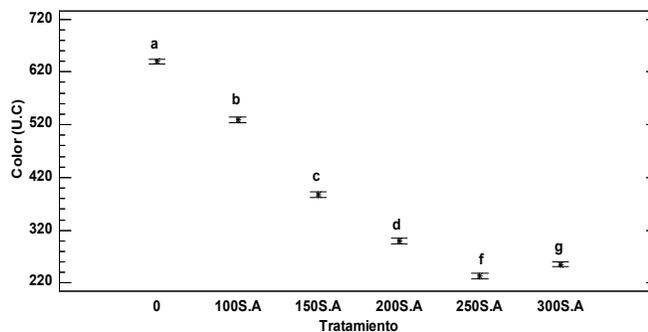


Figura 2. Valores promedios (\pm DE) de la variable turbiedad de las diferentes dosis de sulfato de aluminio evaluados

Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio para la Remoción de Color

En el análisis de varianza de una vía realizados nos muestran que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los promedios de la variable color (U.C) del agua residual, cuando se les aplica diferentes tratamientos de dosis de sulfato de aluminio evaluadas (0, 100S.A, 150S.A, 200S.A, 250S.A Y 300S.A) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medias de Tukey, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). El tratamiento que mostro el valor promedio más bajo de color fue el 250S.A con 233.5 ± 6.45 , seguido por los tratamientos 300.S.A y 200S.A con 255.7 ± 5.8 , 299.5 ± 9.88 respectivamente. Los tratamientos que mostraron los valores promedios más altos de color fueron 0, 100S.A y 150S.A con 639.5 ± 5.80 , 529.0 ± 5.94 , 387.5 ± 7.76 respectivamente, tal cual se observa en la figura 3.

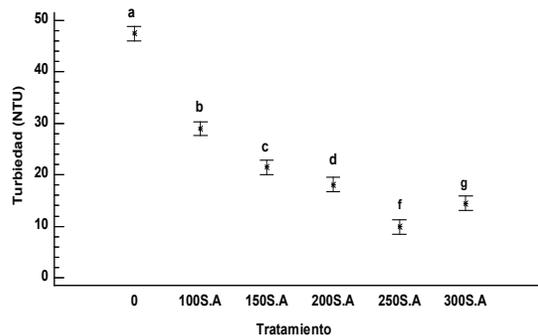


Figura 3. Valores promedios (\pm DE) de la variable color de las diferentes dosis de sulfato de aluminio evaluada

Dosis de Mezclas de Polvo *C.longirostrata* y Sulfato de Aluminio para la Remoción de Color

El análisis de varianza de una vía muestra que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los promedios de la variable color (U.C) del agua residual cuando están bajo el efecto de diferentes tratamientos de mezclas de *C. longirostrata* en polvo y dosis de sulfato de aluminio evaluadas (125S.A -125CH, 150S.A-75CH, 250S.A, 200S.A-50CH, 225S.A-25CH y 150S.A-100CH) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medias de Tukey, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). El tratamiento que mostro el valor promedio más bajos de color fue el 125SA-75CH con 230.5 ± 4.20 , seguido por los tratamientos 250SA, 200SA-50CH y 225S.A-25CH con promedios de 247.0 ± 4.96 , 274.0 ± 5.47 , 281.5 ± 8.10 respectivamente. Los valores promedios más altos de color se observaron en los tratamientos 125S.A-125CH y 150S.A-100CH con promedios de 380.2 ± 6.99 , 288.7 ± 5.56 respectivamente, como se ve en la figura 4.

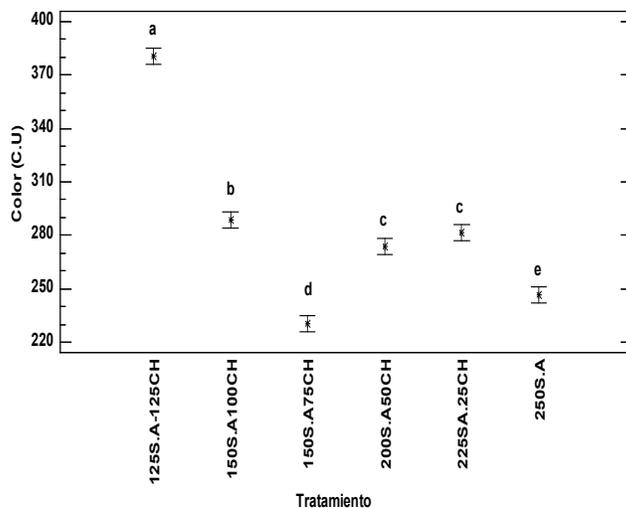


Figura 4. Valores promedios (\pm DE) de la variable color de las diferentes mezclas de polvo de chipilín y sulfato de aluminio evaluadas

Dosis de Mezclas de polvo *C.longirostrata* en Polvo y Sulfato de Aluminio para la Remoción de Turbiedad

El análisis de varianza de una vía muestra que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre los promedios de la variable turbiedad (NTU) del agua residual cuando están bajo el efecto de diferentes tratamientos de mezclas de *C.longirostrata* en polvo y dosis de sulfato de aluminio evaluadas (125S.A -125CH, 150S.A-75CH, 250S.A, 200S.A-50CH, 225S.A-25CH y 150S.A-100CH) con un 95% de confianza. El contraste múltiple de medias de Tukey, indica con letras diferentes diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). Los tratamientos que mostraron los valores promedios más bajos de turbiedad fueron 150SA-75CH y 250S.A 9.4 ± 0.96 , 9.07 ± 5.22 respectivamente, seguido por los tratamientos 200SA-50CH, 150S.A-100CH y 225SA-25CH con 13.9 ± 1.20 , 14.3 ± 1.79 , 15.1 ± 1.53 respectivamente. El valor promedio más alto de turbiedad se observó en el tratamiento 125S.A-125CH con 21.75 ± 1.91 , tal cual se observa en la figura 5.

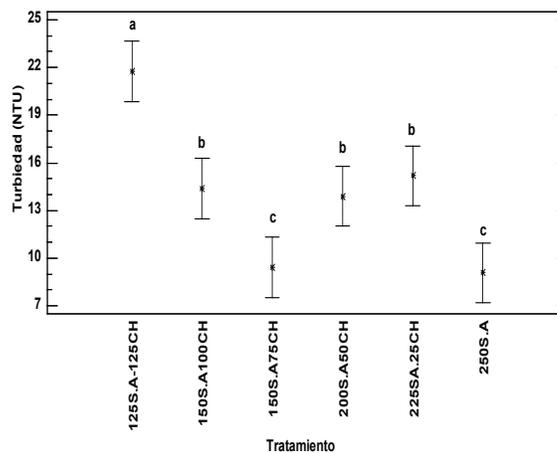


Figura 5 Valores promedios (\pm DE) de la variable turbiedad de las diferentes mezclas de polvo de chipilín y sulfato de aluminio evaluadas

Conclusiones y/o recomendaciones

Las mezclas de polvo de *C. longirostrata* con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ removieron una mayor cantidad de turbiedad y color que la dosis optima de sulfato de aluminio en aguas residuales. La mezcla coagulante 150S.A75CH (150 mg/L de sulfato de aluminio y 65 mg/L polvo de *C.longirostrata*) mostro el porcentaje más alto de remoción de turbiedad y color (83.4% NTU y 64.9% U.C respectivamente) que la dosis optima de sulfato de aluminio (82.5% NTU y 62.4 U.C). Los resultados de este trabajo lograron reducir en un 35% el uso del sulfato de aluminio, lo cual es de suma importancia, ya que las dosis de sulfato de aluminio utilizadas comúnmente en el tratamiento de aguas para la reducción de turbiedad y color dejan residuos de aluminio en el agua, que causan daños a la salud y los ecosistemas. El uso del polvo de la *C. longirostrata* como coadyuvante en la remoción de turbiedad y color no tiene efectos tóxicos ya que es un arbusto comestible. Es recomendable seguir haciendo estudios con el polímero de *C. longirostrata* en diferentes tipos de aguas residuales por ejemplo aguas residuales industriales, aguas residuales domésticas y aguas residuales urbanas ya que en este estudio solo se utilizó agua superficial.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico superior de Comalcalco, Instituto Tecnológico de Centla y a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por la ayuda técnica de su personal y usos de laboratorio.

Referencias

- [1] R. Olivero Verbel, A. Florez Vergara, L. Vega Fellizola, & G. Villegas de Aguas. "Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleifera en clarificación de aguas". *Producción + Limpia*, 12(2), 71-79 <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a6>
- [2] A. Nath, A. Mishra and P. P. Pande. "A review natural polymeric coagulants in wastewater treatment, Materials Today: Proceedings" <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.551a>
- [3] D. Choque-Quispe, Y. Choque-Quispe, A. M Solano-Reynoso., & B. S. Ramos-Pacheco. "Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. Tecnología Química". 38(2), 298-309. 2018. Recuperado en 31 de octubre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200008&lng=es&tlng=es.
- [4] C. Banchón; R. Baquerizo; D. Muñoz; L. Zambrano. "Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales". Enfoque UTE, vol. 7, núm. 4, Octubre-Diciembre, pp. 111-126. 2016. Universidad Tecnológica Equinoccial DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>
- [5] P. Agarwal, G. Saini. "Use of natural coagulants (Moringa oleifera and Benincasa hispida) for volume reduction of waste drilling slurries." *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.924.2021>
- [6] M. Carpio, C. Ruiz, D. Esenarro, C. Rodríguez, G. García, J. Breña. "Natural Coagulant Based on Mango Seeds (Mangifera indica L) in Removal of Turbidity of Domestic Wastewater." *International Journal of Advanced Science and Technology*. Vol. 29, No. 7 pp. 2726 – 2734. 2020. <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/18144/9197>
- [7] B.I. Gandiwa, L.B. Moyo, S. Ncube, T.A. Mamvura, L.L. Mguni, N. Hlabangana. "Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alum blend)." *South African Journal of Chemical Engineering*. Vol. 34 pp. 158–164. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005>
- [8] K. S. Lim, V. Sethu, A. Selvarajoo. "Natural plant materials as coagulant and flocculants for the treatment of palm oil mill effluent." *Materials Today: Proceedings*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.483>.
- [9] Y. Fernández-Gutiérrez, C. Ruiz-Huamán. "Tratamiento de agua residual mediante aplicación de sulfo de aluminio y biopolímero natural de tamarindo (Tamarindus indica)." *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*. Vol 6 No. 2 pp: 28-34. 2020. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/index ISSN 2410-843x (en línea)
- [10] J. P. Laguna González, "Determinación de la actividad biológica y caracterización de extractos de chípulin (*Crotalaria longirostrata*) con potencial aplicación a alimentos". Tesis de licenciatura. Depto. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coah. 2016. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/8378>
- [11] R. SOLIS SILVAN, J. R LAINES CANEPA, J.R. HERNÁNDEZ BARAJAS. "Mezclas con potencial coagulatne para clarificar aguas superficiales." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 28, núm. 3, 2012. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300005&lng=es&nrm=iso