

Evaluación de coagulantes naturales como tratamiento primario alternativo en las aguas residuales del ITSMT



Colaboración

Miguel Ángel López-Ramírez; Mario Rafael Aguilar-Rodríguez; Gerardo González-Gómez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre; Fernando Alberto Hernández-Guevara, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2022

Fecha de aceptación: 19 de diciembre de 2022

RESUMEN: La contaminación de los cuerpos de agua es uno de los problemas del siglo XXI y esto se debe a que la disposición final de las aguas residuales se hace de manera directa y sin tratamiento. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de turbidez en las aguas residuales proveniente del ITS de Martínez de la Torre tomando como referencia el coagulante químico sulfato de aluminio y como coagulantes alternos el polvo de la semilla *Moringa Oleífera* y el gel de *Aloe Vera*. Los resultados obtenidos demuestran que al verter la misma cantidad de sulfato de Aluminio y *Moringa Oleífera* no muestra diferencia estadística significativa en la remoción, sin embargo, el sulfato de aluminio obtuvo el mejor rendimiento siendo de 98% y la *Moringa Oleífera* alcanzó un 84% con respecto a la remoción de turbidez, no obstante, el *Aloe Vera* obtuvo rendimientos bajos consiguiendo una remoción máxima del 31%.

PALABRAS CLAVE: contaminación, cuerpos de agua, tratamiento, remoción, turbidez, coagulantes alternos.

ABSTRACT: The contamination of bodies of water is one of the problems of the 21st century and this is due to the fact that the final disposal of wastewater is done directly and without treatment. The objective of this investigation was to evaluate the efficiency of turbidity removal in wastewater from the ITS of Martínez de la Torre taking as reference the chemical coagulant aluminum sulfate and as alternate coagulants the powder of the *Moringa Oleífera* seed and the *Aloe gel. vera*. The results obtained show that when pouring the same amount of aluminum sulfate and *Moringa Oleífera* does not show significant statistical difference in removal, however, aluminum sulfate obtained the best performance being 98% and *Moringa Oleífera* reached 84% with Regarding the removal of turbidity, however, *Aloe Vera* obtained low yields, achieving a maximum removal of 31%.

KEYWORDS: pollution, water bodies, treatment, removal, turbidity, alternate coagulants.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas actuales es la falta de disponibilidad del agua debido a la creciente contaminación, esto derivado de las fuentes puntuales de contaminación de las empresas y municipios, las cuales están causando problemas ambientales, por lo que se han desarrollado tecnologías para el tratamiento de estas, para su remediación y transformación en efluentes con características apropiadas para su descarga en cuerpos hídricos; sin embargo, la coagulación y floculación son procesos que pueden mejorar potencialmente las propiedades físicas y químicas del agua tratada [1]. Específicamente, la remoción de sólidos en suspensión se puede

lograr mediante la adición de coagulantes; aunque se ha determinado que el uso de coagulantes de origen químico está asociado a elevados costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y alteración del pH del agua tratada [2].

Los procesos de coagulación y floculación se realizan con coagulantes químicos o naturales, que son añadidos a las aguas residuales con el fin de desestabilizar partículas coloidales y formar grandes flóculos a través de la agregación de partículas. En este sentido, los coagulantes sintéticos mayormente utilizados para el tratamiento del agua son las sales de hierro y aluminio, debido a su elevada efectividad y bajo costo; no obstante, la exposición al aluminio tiene efectos negativos en la salud de las personas, así como daños ambientales [3]. Por lo tanto, la falta de agua potable en las ciudades y los países en crecimiento se entiende como un diario más amplio en todo el mundo aumentará constantemente porque es necesario encontrar opciones de reemplazo modernas y efectivas para poder innovar y mejorar el consumo y las condiciones adecuadas [4]. Razón por la cual, se estudian alternativas naturales y amigables con el medio ambiente, de modo que los coagulantes naturales se presentan como una alternativa viable, debido a que son biodegradables, de bajo costo y se encuentran abundantemente en la tierra; estos pueden ser desde semillas hasta cáscaras de frutas [5].

La Moringa Oleífera Lam es una planta perteneciente a la familia Moringaceae, compuesta por un solo género (Moringa) y 14 especies [6]. Las propiedades coagulantes de la semilla de Moringa son atribuidas a la presencia de proteínas solubles que actúan como polielectrolito catiónico [7], en tanto que el mecanismo de desestabilización es atribuido a la adsorción y neutralización de cargas [8]. Diversos investigadores han demostrado su aplicación tanto para la clarificación de agua potable como para el tratamiento de aguas residuales [9, 10].

Con respecto al Aloe Vera diversos investigadores lo han ocupado con el fin de depurar aguas que tienen partículas sólidas suspendidas, empleando el gel de Aloe Vera como coagulante de origen natural, contribuyendo de forma eficiente en el proceso de floculación [11]. El autor Diestra, R. en el 2019 [12], en su trabajo de investigación "Efecto de la concentración de Aloe vera (Sábila) y tiempo de floculación en la remoción de Sólidos suspendidos y materia orgánica biodegradable de aguas residuales municipales sector el Cerrillo, Santiago de Chuco" tuvo el objetivo de estimar la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos suspendidos totales en aguas residuales municipales utilizando el gel de sábila y el tiempo de floculación, a nivel de laboratorio evaluado mediante la prueba de jarras, donde se consideró concentraciones de Aloe Vera y tiempo de floculación que difieren en dos niveles, para valores de 2000 ppm y 3000 ppm a 20 y 25 minutos respectivamente.



Figura 1. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. Fuente: Elaboración propia.

Derivado de lo anterior el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la remoción de la turbidez, utilizando 3 tipos de tratamientos, siendo el primero de estos la aplicación del Sulfato de Aluminio como coagulante químico y como tratamientos alternativos el polvo de Moringa Oleífera y el gel de Aloe Vera a nivel laboratorio a 1000 mL. en pruebas de jarras en condiciones controladas, esto con la finalidad de proponer un posible tratamiento alternativo para las aguas residuales generadas en el ITS de Martínez de la Torre y disminuir la contaminación que estas puedan provocar a la biota y al sector educativo que se encuentra laborando y estudiando en las instalaciones donde no se cuenta con instalaciones de plantas de tratamiento de ningún tipo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación

La experimentación se realizó en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre (Figura 1) se encuentra ubicado en las coordenadas 20.0542, -97.0300, en el municipio de Martínez de la Torre, ubicado entre aproximadamente a 730 metros de la carretera a Banderilla y 230 metros del río Filobobos, exactamente en el laboratorio de Ciencias Básicas, ahí mismo en la Figura 1 se muestra la ubicación de la fosa séptica donde se tomaron las muestras pertinentes para la experimentación.

Experimentación

Esta investigación se realizó por medio de un diseño experimental haciendo uso de análisis estadísticos de datos, los cuales consistieron en realizar test de jarras al agua de descarga usando diferentes dosis de los tres coagulantes, para determinar la mejor dosis aplicada de cada uno de los coagulantes estudiados.

Caracterización del agua residual

Se caracterizó el agua residual procedente del ITS de Martínez de la Torre, la cual es depositada en la fosa séptica ubicada en la parte trasera de las instalaciones.

Los análisis con respecto a la caracterización se realizaron con la finalidad de conocer las condiciones inicia-

les en las que se encuentra el agua, la cual es el objeto de estudio de esta investigación. Las muestras se caracterizaron en cuanto a pH, Conductividad, Turbidez, Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Sedimentables.

Pre-Tratamiento

Posterior a la caracterización se realizó la prueba de jarras esto por triplicado con el equipo marca Griffin con la finalidad de evaluar en distintas proporciones (30%, 60% y 90% m/v) los coagulantes naturales Moringa Oleífera en polvo y Aloe Vera en gel en un tiempo de 15 minutos, distribuidos en 5 minutos a una velocidad de 120 rpm y a 60 rpm para el crecimiento de flóculos en 10 minutos en muestras de 1 L (Figura 2).

Respecto a la extracción del gel de Aloe Vera se obtuvo separando el gel de la corteza, para luego ser cortado en trozos pequeños; dicho gel se pasó por un proceso artesanal de separación de sólidos utilizando un colador tradicional y así obtener el líquido que actúa como coagulante natural para las aguas residuales urbanas ya que dicho líquido obtenido es el utilizado como clarificante.

Para la determinación de los análisis estadísticos se realizaron pruebas de medias con un 95% grado de confianza mediante el método de Dunnet utilizando como comparativa central la dosis óptima del blanco (Sulfato de Aluminio).

RESULTADOS

Caracterización del agua residual

Con respecto a los muestreos realizados durante los meses de febrero – agosto se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. Caracterización del agua residual.

Muestra	pH	Conductividad (mS/cm)	Turbidez (NTU)	Sólidos Disueltos (ppm)	Sólidos Sedimentables (mL/L)
1	7	1819	42.4	868	1
2	7.1	1793	36.8	840	0
3	7.2	1810	35.4	849	0.8
4	7.9	1959	38.1	956	1
5	8.1	1965	41.3	931	0.1
6	8	2012	39.3	942	0.2
7	7.3	1629	208	757	1
8	7.4	1644	231	798	0.4
9	7.4	1636	226	773	0.3
10	7.5	1176	244	813	0.5
11	7.5	1817	243	812	1
12	7.5	1744	243	820	0.3
13	7.6	1534	136	705	1
14	7.6	1497	137	726	0.7
15	7.6	1491	137	722	1.1
16	7.8	1648	256	774	1.2
17	7.7	1642	221	764	1.1
18	7.7	1629	257	715	1.5
19	7.3	1793	54.0	864	0.1
20	7.2	1806	41.3	854	0.0
21	7.3	1800	38.1	833	0.1
22	7.3	2008	48.3	920	0.5
23	7.1	1995	47.0	921	0.2
24	7.3	1985	48.4	925	0.4
25	7.4	1651	227	774	0.5
26	7.3	1597	231	773	0.3
27	7.4	1621	223	762	1



Figura 2. Proceso de coagulación-floculación.

Fuente: Elaboración propia.

Después de los resultados obtenidos de acorde a la caracterización se procedió a realizar la medición de parámetros como pH y conductividad con un equipo multiparamétrico marca Conductronic y medición de turbidez con el equipo Hatch 2100AN.

Obtención del coagulante natural

Para la obtención del polvo de la semilla Moringa Oleífera se realizó a un secado constante mediante un horno de secado de convección forzada marca OVEN durante 48 horas hasta llegar a peso constante, posterior a esto se retiró la cáscara de la semilla y consecutivamente se trituró con un mortero de porcelana y tamizado a 1 mm, ambos procesos se realizaron de forma manual.

Valores Representativos:

pH (Unidades de pH): Promedio 7.46, Valor Alto 8.0, Valor Bajo 7.0, Desviación Estándar: 0.2748

Conductividad (mS cm⁻¹): Promedio 1729.67, Valor Alto 2012, Valor Bajo 1176, Desviación Estándar: 194.5484

Turbidez (NTU): Promedio 138.16, Valor Alto 257, Valor Bajo 35.4, Desviación Estándar: 92.6274

Sólidos Disueltos Totales (ppm): Promedio 821.89, Valor Alto 956, Valor Bajo 705, Desviación Estándar: 74.9468

Sólidos Sedimentables (mL L⁻¹): Promedio 0.60, Valor Alto 1.5, Valor Bajo 0, Desviación Estándar: 0.4319

Posterior a esto se realizó el proceso de coagulación-floculación afectando a los parámetros de la siguiente manera:

Tabla 2. Efectos de los coagulantes sobre las aguas residuales.

Muestra	Variación de pH (%)	Remoción de turbidez (%)	Variación de Turbidez (%)	Variación de Sólidos Disueltos (%)	Variación de Sólidos Sedimentables (%)
M.O. 300	-4.29	-27.36	0.01	0.00	-3.00
M.O. 300	-1.41	-13.59	-0.01	-0.02	-14.00
M.O. 300	-1.39	-7.63	0.01	0.02	-1.50
M.O. 600	0.00	44.36	0.02	0.06	-5.00
M.O. 600	1.23	51.09	-0.01	0.04	-44.00
M.O. 600	1.25	50.38	0.03	0.04	-16.50
M.O. 900	-0.68	81.11	0.04	0.03	-6.00
M.O. 900	0.00	84.33	0.04	0.09	-16.50
M.O. 900	0.00	82.52	0.04	0.04	-25.67
A.V. 300	0.00	31.15	-0.44	-0.05	-3.00
A.V. 300	0.00	31.28	0.04	-0.03	-0.20
A.V. 300	0.00	8.23	0.00	-0.03	-4.00
A.V. 600	1.32	16.18	0.00	-0.01	-5.00
A.V. 600	1.32	18.98	-0.02	0.02	-9.71
A.V. 600	1.32	16.79	-0.02	0.01	-6.27
A.V. 900	1.28	18.75	0.00	0.00	-7.67
A.V. 900	0.00	3.17	-0.01	0.00	-8.09
A.V. 900	0.00	15.18	0.00	-0.07	-5.93
S.A. 300	1.37	7.41	-0.12	-0.08	-499.00
S.A. 300	5.56	27.12	-0.10	-0.08	-479.00
S.A. 300	5.48	-31.23	-0.10	-0.09	-499.00
S.A. 600	0.00	22.15	-0.35	-0.09	-83.00
S.A. 600	-1.41	34.68	-0.05	-0.07	-314.00
S.A. 600	1.37	10.12	-0.04	-0.06	-174.00
S.A. 900	18.92	98.42	-0.11	-0.12	-177.00
S.A. 900	19.18	98.77	-0.14	-0.12	-299.00
S.A. 900	20.27	98.55	-0.15	-0.12	-91.00

M.O.=Moringa Oleífera; A.V.=Aloe Vera; S. A.= Sulfato de Aluminio; 300= 300 ppm; 600= 600 ppm; 900 = 900 ppm.

Como se visualiza en la Tabla 2, las variaciones de pH son menores al 6% excepto en la aplicación del sulfato de aluminio a 900 ppm donde la variación del pH es cercana al 20% acidificando el agua hasta un pH de 5.9, dichos resultados obtenidos son parecidos a los de Galindo en el 2018 [4], ya que, durante su experimentación, durante el proceso de coagulación-floculación de las aguas residuales se presento acidificación en el 60% de los casos.

Respecto a la turbidez podemos observar que se obtuvieron resultados similares acorde a Meza-Leones et

al., 2018 [13] los cuales alcanzaron un 96% de remoción con el coagulante químico (sulfato de aluminio) y respecto al uso de los coagulantes naturales la Moringa Oleífera presentó la mayor remoción del 84% siendo similar a lo reportado por Cevallox-Coox et al., en el 2022 [14].

Posterior a esto se procedió a realizar un análisis ANOVA para validar si hay diferencias significativas entre el uso de estos.

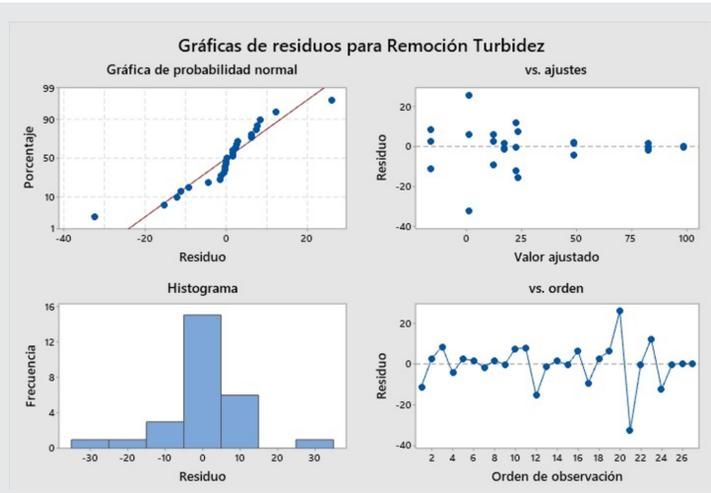


Figura 3. Proceso de coagulación-floculación.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 3, los parámetros residuales con respecto a la turbidez son óptimos mostrando en las 4 gráficas tendencias "Normales", por lo que se procede a realizar una comparación de media por Dunnett al 95% utilizando el parámetro de Sulfato de Aluminio a 900 ppm, ya que este parámetro es el de mayor eficiencia por el tratamiento típico (blanco).

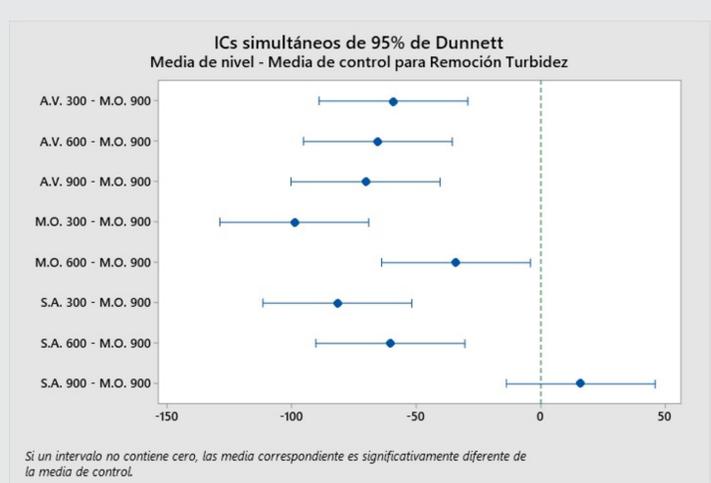


Figura 4. Pruebas de media a partir de Dunnett con Sulfato de Aluminio a 900 pm.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 4, que es la prueba estadística de media con respecto al sulfato de aluminio a 900 ppm por Dunnett al 95% el tratamiento con Morin-

ga Oleífera a 900 ppm alcanza la misma eficiencia de manera estadística con respecto al blanco.

García-Arellano en el 2019 [15] menciona que respecto al pH obtuvo variación de este parámetro con el sulfato de aluminio, los cuales concuerdan con los resultados obtenidos en esta investigación como se observa en la Tabla 2, el pH con este reactivo químico lo afecta.

De acuerdo a la remoción de turbidez la Moringa Oleífera obtuvo mejores resultados como se observa en la Tabla 2, los cuales alcanzan hasta un 84%, resultados similares a los obtenidos por Mejía-Carrillo et al., en el 2020 [16] con un 84.4% con una cantidad del polvo de 800 ppm como coagulante. No hubo alteraciones importantes de pH con el uso del coagulante natural, a comparación de cuando se usó el coagulante inorgánico. Estos resultados indican que usando el polvo de la Moringa Oleífera no hay necesidad de ajuste del pH posterior a la coagulación, similar comportamiento fue reportado por Ndabigengesere y Narasiah [16, 17].

La similitud de resultados enfocándose en el uso del coagulante tuvo correlación con el trabajo realizado López et al., 2016 [18], ya que la presente investigación obtuvo valores similares al 31% alcanzados por los investigadores mencionados.

CONCLUSIONES

La remoción del parámetro la turbidez con la aplicación de la Moringa Oleífera en polvo obtuvo la misma eficiencia de manera estadística de acuerdo a la remoción máxima reportada con la aplicación del sulfato de aluminio a la misma concentración (900 ppm), respecto a las pruebas de Dunnet al 95%.

A pesar de que el Sulfato de Aluminio demostró ser más eficiente como se observa en la Tabla 2, derivado que alcanzó hasta un 98% de remoción de turbidez cambia el pH del agua en 1 unidad, mientras que el uso del Moringa Oleífera como coagulante no perturba este parámetro logrando hasta una remoción del 84%.

En general el uso de coagulantes naturales permite una remoción óptima de turbidez disminuyendo los efectos adversos que producen los coagulantes químicos y produciendo lodos libres de aluminio.

Se recomienda estudiar el aprovechamiento de los subproductos de la extracción de la semilla de Moringa Oleífera, así como la disposición o aprovechamiento de lodos debería ser objeto de estudio en futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México por su apoyo a este proyecto con financiamiento con clave de registro 13554.22-PD.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Sagastegui, V. (2019). *Implementación de sistemas de coagulación-floculación en el tratamiento químico del agua de bombeo, en la empresa pesquera Exalmar S.A. Tesis magistral. Escuela de posgrado de la Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.*

[2] Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y. Solano-Reynoso, A.M., Ramos Pacheco, B. (2018). *Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. Tecnología Química 38(2), 298-309.*

[3] Sciban, M., Klasnja, M., Antov, M., Skrbic, B. (2001). *Removal of Water Turbidity by Natural Coagulants Obtained from Chestnut and Acorn. Bioresource Technology, 100(24), 6639-6643.*

[4] Galindo, G. (2018). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca – EMAPA PASCO” granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú.*

[5] Carrasquero, S., Montiel Flores, S., Faría Perche, E. D., Parra Ferrer, P. M., Marin Leal, J. C., Díaz Montiel, A. R. (2017). *Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (Sonalum tuberosum) y plátano (Musa paradisiaca) en la clarificación de aguas. Revista Facultad De Ciencias Básicas, 13(2), 90-99.*

[6] Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A. S., O’neill, J. G. (2010). *A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 35(13-14), 798-805.*

[7] Kwaambwa, H. M., Rennie, A. R. (2011). *Interactions of surfactants with a water treatment protein from Moringa oleifera seeds in solution studied by zeta-potential and light scattering measurements. Biopolymers, 97(4), 209-218.*

[8] Bongiovani, M. C., Camacho, F. P., Nishi, L., Coldebella, P. F., Valverde, K. C., Vieira, A. M., Bergamasco, R. (2014). *Improvement of the coagulation/flocculation process using a combination of Moringa oleifera lam with anionic polymer in water treatment. Environmental Technology. 35(17), 2227-2236.*

[9] Keogh, M. B., Elmusharaf, K., Borde, P., McGuigan, K.G. (2017). *Evaluation of the natural coa-*

gulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SO-DIS in contaminated turbid water. *Solar Energy*, 158, 448-454.

Remoción de la turbidez en muestras sintéticas mediante coagulación- floculación y filtración utilizando materiales naturales. 3er Congreso Nacional AMICA- Villahermosa Tabasco.

[10] Choumane, F.Z., Benguella, B., Maachou, B., Saadi, N. (2017). Valorisation of a biofloculant and hydroxyapatites as coagulationfloculation adjuvants in wastewater treatment of the steppe in the wilaya of Saida (Algeria). *Ecological Engineering*, 107, 152- 159.

[11] Hurtado-Pérez, A. M. (2019). Polisacáridos del Gel Aloe Vera L. como floculante en tratamiento de aguas. Tesis. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos.

[12] Diestra, R. (2019). Efecto de la concentración de Aloe vera (sábila) y tiempo de floculación en la remoción de Sólidos suspendidos y materia orgánica biodegradable de aguas residuales municipales sector Cerillo, Santiago de Chuco. Tesis. Universidad Nacional de Trujillo.

[13] Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R., Jurado-Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleifera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104.

[14] Cevallos-Cooxa, N. N., Burgos-Brionesa, G. A., Córdova-Mosquera, A. Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. *Publicaciones en Ciencia y Tecnología*, 16(2), 54-68.

[15] García-Arellano, J. (2019). Eficiencia del sulfato de aluminio y Aloe Vera en la turbidez del agua de San Roque de Cumbaza, 2019. Tesis de Licenciatura. Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú.

[16] Mejía Carrillo, P. W., Urquia Collantes, K., Cabello Torres, R. J., Valdiviezo Gonzales, L. G. (2020). Evaluación de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica. *Ingeniería del Agua*, 24(2), 119-127.

[17] Ndabigengesere, A., Narasiah, K. S. (1998). Quality of Water Treated by Coagulation Using *Moringa oleifera* Seeds. *Water Research*: 32(3), 781-791.

[18] López-Aranda, M. A., Canché-Uuh J. A., Guevara-Franco J. L., Oropeza-García N. (2016).