

Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (*Opuntia ficus indica*)

Clarification of a dairy wastewater by coagulation using Tuna (*Opuntia ficus indica*)

Chuiza-Rojas, Marco¹; Calderón, Segundo Hugo¹; Vargas-Escobar, Jorge¹; Borja-Mayorga, Danielita¹; Rennola, Leonardo^{2*}

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
²Laboratorio de Mezclado, Separación y Síntesis Industrial (LMSSI),
Universidad de Los Andes, Mérida 5101, Venezuela

[*leonardo@ula.ve](mailto:leonardo@ula.ve)

Resumen

*El uso de coagulantes naturales surge como una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como industriales. El presente trabajo investiga la clarificación de un agua residual de una industria láctea, de la provincia de Pastaza, Ecuador, utilizando Tuna (*Opuntia ficus indica*) como agente coagulante natural. Se estudió la coagulación en muestras de un litro de agua residual mediante un equipo estándar de prueba de jarras, modificando las variables concentración de coagulante (1-2 %P) y volumen de coagulante (5-35 ml). Los parámetros analizados fueron turbidez, color, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS), sólidos totales (ST) y coliformes fecales (CF). Se encontró que la dosificación óptima fue 20 ml de solución de coagulante al 2% (400 ppm). Las eficiencias de remoción encontradas fueron 77,8% en turbidez, 51,8% en color, 26,8% en DQO, 13,9% en DBO, 31,0% en SS, 26,4% en ST y 99,96% en CF. Los resultados muestran que la Tuna (*Opuntia ficus indica*) puede ser utilizada como tratamiento preliminar de las aguas residuales de una industria láctea.*

Palabras clave: clarificación, coagulación, *Opuntia ficus indica*, agua residual, industria láctea.

Abstract

*The use of natural coagulants emerges as an ecological alternative for both domestic and industrial wastewater treatment. The present work investigates the clarification of a wastewater from a dairy industry, in the province of Pastaza, Ecuador, using prickly pear cactus (*Opuntia ficus indica*) as a natural coagulant agent. It was studied the coagulation in samples of one litre of wastewater through a standard jar testing equipment, modifying the coagulant concentration (1-2 w%) and volume of coagulant (5-35 ml). The parameters analyzed were turbidity, color, chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), suspended solids (SS), total solids (ST) and fecal coliforms (FC). It was found that the optimal dosage was 20 ml of coagulant solution at 2% (400 ppm). The removal efficiencies found were 77.8% in turbidity, 51.8% in color, 26.8% in COD, 13.9% in BOD, 31.0% in SS, 26.4% in ST and 99.96% in CF. The results show that the prickly pear cactus (*Opuntia ficus indica*) can be used as pretreatment of wastewater from a dairy industry.*

Keywords: clarification, coagulation, *Opuntia ficus indica*, wastewater, dairy industry.

1 Introducción

La industria láctea se caracteriza por su elevado consumo de agua y por lo tanto genera gran cantidad de aguas residuales (0,2 a 10 litros de efluentes por litro de leche procesada) (Vourch y col., 2008). El agua se usa en las distintas etapas del procesamiento de la leche las cuales incluyen la limpieza, la desinfección, el calentamiento, el enfriamiento y el lavado de pisos. Los mayores contaminantes son la demanda biológica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos (SS) y los sólidos disueltos (ST) (Buntner y col., 2013).

Se han utilizado diferentes tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales de la industria láctea, entre los cuales se pueden mencionar los tratamientos con membranas (Luo y col., 2011, Vourch y col., 2008, Sarkar y col., 2006); los tratamientos biológicos aerobios y anaerobios (Karadag y col., 2015, Buntner y col., 2013, Kaewsuk y col., 2010); los electrotratamientos (Prakash y col., 2011, Yavuz y col., 2011); adsorción con Chitosan y carbón activado (Selmer y col., 1996, Geetha y col., 2012, Prakash y col., 2010) y coagulación-floculación (Prakash y col., 2010, Formentini y col., 2013).

El pretratamiento de las aguas de la industria láctea mediante coagulación ha sido investigado por diferentes autores. El uso de Sulfato de aluminio, Cloruro férrico y Cloruro de polialuminio a concentraciones de 800 mg/l demostró ser el valor de mayor eficiencia para la remoción de la turbidez de un agua residual de una industria láctea en China (Chen y col., 2012). La eficiencia de remoción de turbidez se reportó por encima de 80%. El coagulante más eficiente fue el Cloruro de polialuminio.

Aunque el uso de coagulantes de sales metálicas resulta más eficiente y económico, se presentan dudas por el efecto del aluminio residual y la enfermedad de Alzheimer. Así pues, el uso de coagulantes naturales surge como una alternativa de tratamiento (Diaz y col., 1999). El Chitosan, sustancia que se obtiene a partir de conchas de camarón se ha utilizado como coagulante para la remoción de color y COD en aguas residuales de la industria láctea (Selmer y col., 1996, Geetha y col., 2012) donde se obtuvieron remociones de COD por encima de 50%. Adicionalmente, se han hecho experimentos con Moringa Oleífera donde se lograron remociones de más de 93% en color y turbidez, y 39% en COD a un agua residual láctea (Fromentini y col., 2013). También se puede mencionar el uso de Cactus latifaria y semillas de Prosopis juliflora (Diaz y col., 1996) donde se obtuvieron remociones mayores a 90% en turbidez para un agua residual sintética con rangos de turbidez inicial entre 20-200 NTU.

La Tuna (*Opuntia ficus indica*) pertenece a la familia *Cactaceae* y crece en climas áridos y semiáridos de Latinoamérica, sur África y países mediterráneos. Se ha encontrado que posee propiedades antioxidantes, antibacterianas y antiinflamatorias y además contiene ácido

ascórbico, vitamina E, carotenoides, aminoácidos y antioxidantes (fenoles, flavonoides, betaxantina y betacianina) (El-Mostafa y col., 2014, Lozoya y col., 2018, Gade y col., 2010). Adicionalmente, se ha usado como agente coagulante en el tratamiento de aguas residuales, como por ejemplo en aguas de la industria de pinturas base agua (Vishali y col., 2014); en industrias de pigmentos y textiles (Barka y col., 2013, Louati y col., 2018, Pelaez y col., 2013); en aguas de producción de petróleo (Choudhary y col., 2019, Wan y col., 2019); en combinación con electrotratamientos para la eliminación de turbidez (Djerroud y col., 2018); en aguas residuales de tenerías (Gomes y col., 2015) y en remoción de plomo y cadmio (Onditi y col., 2016). No se encontraron publicaciones con su uso para el tratamiento de aguas de la industria láctea.

El constituyente principal de la Tuna es un heteropolisacarido con un peso molecular de $2,3-300 \times 10^4$ g/gmol que es el responsable de las propiedades coagulantes (Vishali y col., 2014).

El presente trabajo tiene por objetivo estudiar el poder como coagulante de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) en términos de la remoción de color y turbidez de un agua residual de una industria láctea ecuatoriana. También se determinarán la eficiencia en remoción de DBO, DQO, SS, ST y coliformes fecales.

2 Procedimiento Experimental

2.1 Materiales y métodos

2.1.1 Agua residual

Para la presente investigación se tomaron aproximadamente 80 litros del agua residual de la industria láctea Virgen del Cisne, ubicada en el km 16 de la vía Puyo-Macas, de la Provincia de Pastaza, Ecuador, dedicada a la elaboración de quesos pasteurizados y mozzarella. En la Tabla 1 se muestra la caracterización del agua residual usada.

Tabla 1. Caracterización del agua residual usada

Parámetro	Unidades	Método*	Valor	TULS MA
pH	Und.	4500-B	4,18	6-9
Conductiv.	μSiems/cm	2510-B	1060	-
Color	Und. Co/Pt	-	3900	-
Turbiedad	NTU	2130-B	361	-
DBO	mg/L	5220-C	4915	200
DQO	mg/L	5210-B	2895	100
SS	mg/L	2540-D	1525	130
ST	mg/L	2540-A	7332	1600
CF	UFC/100 mL	Microfiltr	$2,4 \times 10^6$	2000

2.1.2 Coagulante

2.1.2.1 Caracterización de la materia prima

El coagulante utilizado fue la Tuna (*Opuntia ficus indica*). Para la caracterización se utilizó una penca de Tuna a la cual se le determinaron los siguientes parámetros: pH, humedad, hierro y calcio. La humedad se determinó por gravimetría y los metales con un equipo de absorción atómica VARIAN SpectrAA 55B.

2.1.2.2 Obtención del coagulante natural

En la Figura 1 se muestra el procedimiento para la obtención del coagulante a partir de las pencas de Tuna.

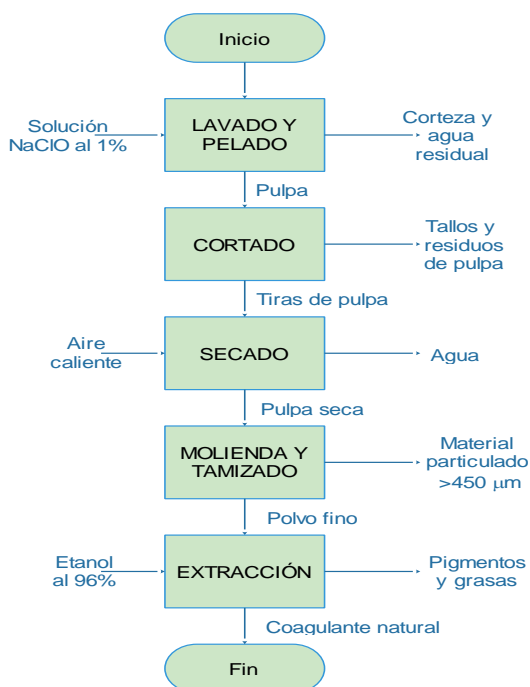


Fig. 1. Procedimiento para la obtención del coagulante.

El lavado se realizó con una solución al 1% de NaClO para eliminar las impurezas presentes en las pencas de la planta. Luego se procedió a separar las cutículas manualmente con un cuchillo. El cortado se realiza en tiras para aumentar el área de transferencia de calor. El secado se llevó a cabo en una estufa a 60°C por 48 horas. Para la molienda se utilizó un molino de tornillo sin fin durante 30 minutos. Para el tamizado de la pulpa molida se usó un tamiz de luz de malla de 450 µm. El proceso de extracción se realizó con etanol al 96% por un periodo de 7 horas en un equipo Soxhlet para extraer los pigmentos. Finalmente, se secó el polvo para eliminar el etanol residual, en una estufa a 60° por dos horas. En cada fase se realizó un balance de masa para estimar el rendimiento por etapa y el global.

2.1.2.3 Composición del coagulante natural

Se determinaron los porcentajes de humedad, cenizas, fibra, grasa, proteína y carbohidratos totales del coagulante natural obtenido a partir de la Tuna siguiendo las normas NTE INEN 518, 520, 522, 523, 1670 y los carbohidratos totales por diferencia.

2.2 Estudio de coagulación

2.2.1 Preparación soluciones de referencia

Se prepararon soluciones de coagulante natural al 1%, 1,5% y 2%. Para la solución al 1% se pesó 1g de coagulante, se introdujo en un matraz aforado y se completó con agua destilada hasta 100 ml y se agita hasta homogenización. Se deja reposar por una hora y se filtra para eliminar cualquier resto de fibra. De forma similar se preparan las soluciones al 1,5% y 2%. Las soluciones deben usarse de inmediato para evitar su descomposición.

2.2.2 Pruebas de jarra

Los ensayos de pruebas de jarra se realizaron en vasos de precipitación de 1000 ml.

Para cada una de las pruebas se realizó lo siguiente: Se colocan 1000 ml de agua residual láctea en los vasos de precipitación. Se dosifican con volúmenes de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 ml de las soluciones preparadas. Se procede a una mezcla rápida durante 5 min a 90 rpm y luego una mezcla lenta durante 10 min a 20 rpm. Se deja en reposo 30 min. Se mide la turbidez del sobrenadante de los recipientes de las pruebas de jarra, con un turbidímetro HACH 2100Q y el color con un espectrofotómetro HACH 2800. Cada prueba se llevó a cabo por duplicado.

2.3 Caracterización del agua residual tratada

Una vez obtenida la dosificación óptima en la prueba de jarras se procede a la caracterización del agua residual tratada. Los parámetros medidos fueron: pH, conductividad, color, turbidez, DQO, DBO, SS, ST, y CF, de acuerdo a los métodos estandarizados (Rice y col., 2017). Los equipos utilizados fueron: un medidor multiparámetro Consort C562, un digestor DQO VELD Scientifica ECO 16 Thermoreactor, un digestor de DBO HACH BODTrack™ II.

3 Resultados y Discusión

La caracterización de la materia prima (pencas de Tuna) se presenta en la Tabla 2. Los valores de pH y humedad encontrados son del mismo orden de magnitud de los reportados por Villabona y col. (2013). El calcio y el hierro presentan diferencias mayores. El contenido de metales depende en mayor proporción en la disponibilidad de nutrientes que pueda suministrar el suelo.

Tabla 2. Caracterización de la materia prima

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	Villabona y col. (2013)
pH	Potenciométr.	4,53	4,42
Humedad(%)	Gravimétrico	93,95	90,23
Calcio (%)	Absorción Atómica	0,0092	0,27
Hierro (%)	Absorción Atómica	0,00078	0,00326

El valor de humedad elevado indica que la eficiencia en el polvo de coagulante natural será baja. La mayor energía se consumirá en la eliminación del agua.

Los balances de masa para cada una de las etapas y su rendimiento se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Balances de masa por operación

	Masa de entrada g	Masa utilizable g	Pérdida g	Rendim. %
Lavado y pelado	13902,21	4886,71	9015,5	35,2
Cortado de pulpa	4886,71	4581,48	80,65	93,8
Secado de pulpa	4581,48	215,12	4366,36	4,7
Molienda	215,12	204,67	10,45	95,1
Tamizado	204,67	147,9	56,77	72,3
Extracción	147,9	133,35	14,55	90,2
Global	13902,21	133,35	13768,86	0,96

Los resultados indican que por cada kilogramo de materia prima se obtienen 96 gramos de polvo coagulante natural. Aunque el rendimiento es bajo, las dosis utilizadas en tratamiento de aguas suelen estar en el orden de los ppm.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la composición del polvo coagulante.

Tabla 4. Composición del polvo coagulante

Parámetro	Resultados (%)
Humedad	5,75
Cenizas	15,36
Proteínas	11,60
Fibras	13,86
Grasas	1,28
Carbohidratos	52,15

La composición del coagulante sirve para confirmar la capacidad coadyuvante del mismo. Los carbohidratos de alto peso molecular como el almidón, son los principales

responsables de dichas propiedades. Así pues, el alto contenido de carbohidratos indica la presencia de polisacáridos que tienen propiedades coagulantes.

Para evaluar la concentración óptima se realizó un test de pruebas de jarra, para lo cual se añadieron diferentes volúmenes (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 ml) de solución de coagulante (1%, 1,5% y 2%) al agua residual. Se midieron la turbidez y el color y se calculó la remoción respecto a los valores mostrados en la Tabla 1. En las figuras 2 y 3 se muestran los resultados de remoción.

De los resultados obtenidos el mayor porcentaje de remoción de la turbidez se obtiene al realizar el test de jarras con el 2% de coagulante natural, ya que se pudo apreciar una remoción de turbidez media de 76,9%.

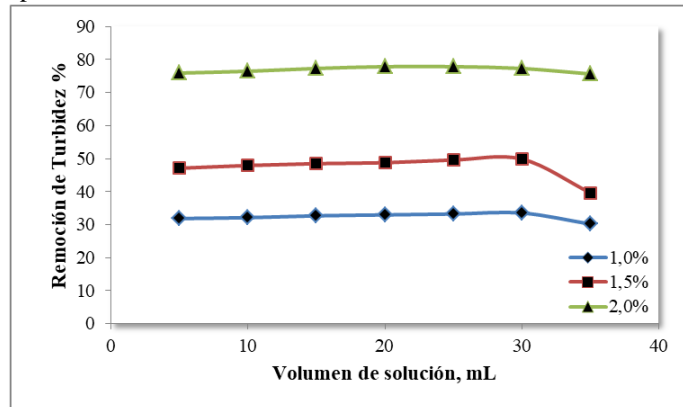


Fig. 2. Porcentaje de remoción de la turbidez a diferentes concentraciones de coagulante natural.

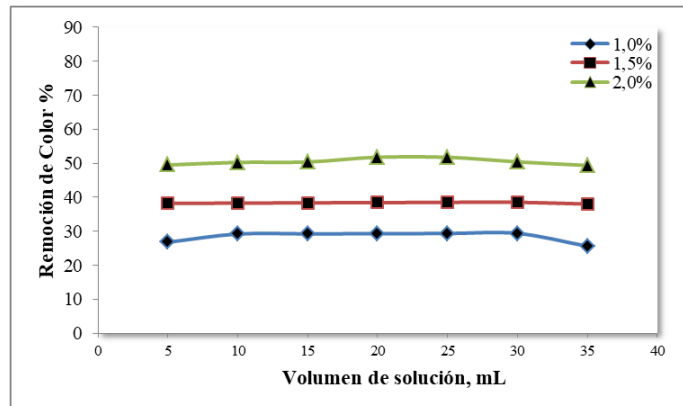


Fig. 3. Porcentaje de remoción del color a diferentes concentraciones de coagulante natural.

Por otro lado, los resultados obtenidos enseñan que para la prueba de color la mejor dosificación es la de 2%, ya que se apreció una disminución del color en una tasa media de 50,5%, lo cual es indicativo de la capacidad que tiene el coagulante para eliminar los sólidos disueltos y totales que se encuentran en el agua residual.

Tabla 4. Remoción de Turbidez y Color para la concentración de 2%

Concentración de Coagulante, %	Volumen, (mL)	Porcentaje de remoción de Turbidez, %	Porcentaje de Remoción de Color, %
2,0%	5	75,9	49,49
	10	76,45	50,26
	15	77,29	50,38
	20	77,84	51,79
	25	77,84	51,77
	30	77,29	50,41
	35	75,62	49,36
Media		76,89	50,49
Desv estándar		0,90	0,97

El volumen óptimo de solución de coagulante al 2% fue de 20 ml (400 ppm), para una remoción de turbidez de 77,84% y de color de 51,79% (Ver Tabla 4).

Una vez establecida la dosificación óptima se procedió a evaluar los demás parámetros incluidos en la caracterización como se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Caracterización del agua residual tratada

Parámetro	Unidades	Método*	Valor	TULSMA
pH	Und.	4500-B	5,32	6-9
Conductiv.	µSiemens/cm	2510-B	980	-
Color	Und. Co/Pt	-	1880	-
Turbiedad	NTU	2130-B	80	-
DBO	mg/L	5220-C	4230	200
DQO	mg/L	5210-B	2120	100
SS	mg/L	2540-D	1052	130
ST	mg/L	2540-A	5400	1600
CF	UFC/100 mL	Microfiltr	<1000	2000

* Métodos Normalizados.

Las eficiencias de remoción encontradas en los otros parámetros analizados fueron: 26,8% en DQO, 13,9% en DBO, 31,0% en SS, 26,4% en ST y 99,96% en CF. Debe resaltarse el poder bactericida de la tuna al obtenerse un valor tan elevado en la remoción de coliformes fecales. También debe resaltarse, que aun cuando se lograron reducciones importantes en los parámetros seleccionados, todavía no se cumple con la normativa ecuatoriana TULSMA, excepto por los coliformes fecales.

4 Conclusiones

El rendimiento encontrado en coagulante natural a partir de las pencas de tuna fue de 0,96%.

La eficiencia de un coagulante puede llevarse a cabo mediante la medición de la turbidez y el color para diferentes concentraciones aplicadas. La viabilidad final de la aplicación del coagulante será de acuerdo a una relación eficiencia y costo de producción del coagulante.

Las eficiencias de remoción mas resaltantes usando la Tuna fueron: turbidez 77,84%, color 51,79% y 99,96% en coliformes fecales.

Se puede utilizar el polvo de coagulante como tratamiento preliminar de las aguas residuales de una industria láctea en Ecuador.

Referencias

- Barka N, Ouzaoui K, Abdennouri M, El Makhfouk M, 2013, Dried prickly pear cactus (*Opuntia ficus indica*) cladodes as a low-cost and eco-friendly biosorbent for dyes removal from aqueous solutions, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 44, pp. 52-60.
- Buntner D, Sánchez A, Garrido JM, 2013, Feasibility of combined UASB and MBR system in dairy wastewater treatment at ambient temperatures, Chemical Engineering Journal, Vol. 230, pp. 475-481.
- Chen W, Liu J, 2012, The possibility and applicability of coagulation-MBR hybrid system in reclamation of dairy wastewater, Desalination, 285, pp. 226-231.
- Diaz A, Rincon N, Escorihuela A, Fernandez N, Chacin E, Forster CF, 1999, A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela, Process Biochemistry, 35, pp. 391-395.
- Choudhary M, Ray MB, Neogi S, 2019, Evaluation of the Potential Application of Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Bio-coagulant for Pre-treatment of Oil Sands Process-Affected Water, Separation and Purification Technology, 209, pp. 714-724.
- Djerroud N, Adjerroud N, Felkai-Haddache L, Hammoui Y, Remini H, Dahmoune F, Merzouk B, Madani K, 2018, Enhanced electrocoagulation-electroflotation for turbidity removal by *Opuntia ficus indica* cladode mucilage, Water and Environmental Journal, Vol. 32, 3, pp. 321-332.
- El-Mostafa K, El Kharrassi Y, Badreddine A, Andreoletti P, Vamecq J, El Kebbjaj M, Latruffe N, Lizard G, Nasser B, Cherkaoui-Malki M, 2014, Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease, Molecules, 19, 14879-14901.
- Formentini-Schmitt DM, Dias AC, Veit MT, Bergamasco R, Salcedo AM, Fagundes-Klen MR, 2013, Ultrafiltration Combined with Coagulation/Flocculation/Sedimentation using *Moringa oleifera* as Coagulant to Treat Dairy Industry Wastewater, Water Air Soil Pollut, 224, pp. 1682-1691

- Gade A, Gaikwad S, Tiwari V, Yadav A, Ingle A, Rai M, 2010, Biofabrication of Silver Nanoparticles by *Opuntia ficus-indica*: *In vitro* Antibacterial Activity and Study of the Mechanism Involved in the Synthesis, *Current Nanoscience*, 6, 4, pp. 370-375.
- Geetha M, Dumarán JJ, Feroz S, 2012, Dairy Wastewater Treatment Using Low Molecular Weight Crab Shell chitosan, *Journal of The Institution of Engineers (India) Series E*, 93, 1, pp. 9-14.
- Gomes L, Troiani EP, Malpass G, Jorge Nozaki J, 2016, *Opuntia ficus indica* as a polyelectrolyte source for the treatment of tannery wastewater, *Desalination and Water Treatment*, 57, 22, 10181-10187.
- Kaewsuk J, Thorasampan W, Thanuttamavong M, Seo GT, 2010, Kinetic development and evaluation of membrane sequencing batch reactor (MSBR) with mixed cultures photosynthetic bacteria for dairy wastewater treatment, *Journal of Environmental Management*, 91, pp. 1161-1168.
- Karadag D, Oguz Emre Köroğlu OE, Ozkaya B, Cakmakci M, 2015, A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater, *Process Biochemistry*, 50, 2, pp. 262-271.
- Kushwaha JP, Srivastava VC, Mall ID, 2010, Treatment of dairy wastewater by commercial activated carbon and bagasse fly ash: Parametric, kinetic and equilibrium modelling, disposal studies, *Bioresource Technology*, 101, pp. 3474-3483.
- Kushwaha JP, Srivastava VC, Mall ID, 2010, Treatment of dairy wastewater by inorganic coagulants: Parametric and disposal studies, *Water Research*, 44, pp. 5867-5874.
- Kushwaha JP, Srivastava VC, Mall ID, 2011, Studies on Electrochemical Treatment of Dairy Wastewater Using Aluminum Electrode, *American Institute of Chemical Engineers Journal*, 57, 2, pp. 2589-2598.
- Louati I, Fersi M, Hadrich B, Ghariani B, Nasri M, Mechichi T, 2018, Prickly pear cactus cladodes powder of *Opuntia ficus indica* as a cost effective biosorbent for dyes removal from aqueous solutions, *Biotech*, 8, pp. 477-486.
- Lozoya Castillo DL, Castillo-Hernández SL, Hernández-Marín DA, Rivas-Morales C, Sánchez-García E, 2018, Evaluación de la actividad antimicrobiana, antiinflamatoria y antioxidante de subproductos de *Opuntia ficus-indica* y *Mangifera indica*, *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, pp. 139-144.
- Luo J, Ding LH, 2011, Influence of pH on treatment of dairy wastewater by nanofiltration using shear-enhanced filtration system, *Desalination*, 278, pp. 150-156.
- NTE INEN 518, 1981, Harinas de origen vegetal. Determinación de la pérdida por calentamiento Norma Técnica Ecuatoriana, Primera edición. Disponible en: <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/> (2019, 1 de Abril).
- NTE INEN 520, 2013, Harinas de origen vegetal.. Determinación de ceniza.. Norma Técnica Ecuatoriana, Primera edición. Disponible en: <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>, (2019, 1 de Abril).
- NTE INEN 522, 2013, Harinas de origen vegetal.. Determinación de la fibra cruda. Norma Técnica Ecuatoriana, Primera edición. Disponible en: <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/> , (2019, 1 de Abril).
- NTE INEN 523, 1981, Harinas de origen vegetal.. Determinación de la grasa. Norma Técnica Ecuatoriana, Primera edición. Disponible en: <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/> (2019, 1 de Abril).
- NTE INEN 1670, 1988, QUINUA. Determinación de la proteína total (proteína cruda). Norma Técnica Ecuatoriana, Primera edición. Disponible en: <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/> (2019, 1 de Abril).
- Onditi M, Adelodun A, Changamu EO, Ngila JC, 2016, Removal of Pb²⁺ and Cd²⁺ from drinking water using polysaccharide extract isolated from cactus pads (*Opuntia ficus indica*), *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 133, 38, pp. 43913-43911.
- Peláez-Cid AA, Velázquez-Ugalde I, Herrera-González AM, García-Serrano J, 2013, Textile dyes removal from aqueous solution using *Opuntia ficus-indica* fruit waste as adsorbent and its characterization, *Journal of Environmental Management*, Vol. 130, pp. 90-97.
- Rice EW, Baird RB, Eaton AD, 2017, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed, APHA, AWWA, WEF publisher.
- Sarkar B, Chakrabarti PP, Vijaykumar A., Kale V, 2006, Wastewater treatment in dairy industries -possibility of reuse, *Desalination*, 195, pp.141-152.
- Selmer-Olsen E, Ratnaweera HC, Pehrsonv R, 1996, A novel treatment process for Dairy wastewater with chitosan produced from shrimp-shell waste, *Water Science and Technology*, 34, 11, pp. 33-40.
- TULSMA, 2015. Ministerio del Ambiente. Consultado el 10 de enero de 2019 de <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/Reforma%20Anexo%2028%20feb%202014%20FINAL.pdf>
- Villabona A, Paz IC, Martínez J, 2013, Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural, *Revista Colombiana de Biotecnología*, XV, 1, 137-144.
- Vishalia S, Karthikeyan R, 2014, Cactus opuntia (*ficus-indica*): an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent, *Desalination and Water Treatment*, 56, 6, pp. 1-9.
- Vourch M, Balannec B, Chaufer B, Dorange G, 2008, Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse, *Desalination*, 219, pp. 190-202.
- Wan J, Chakraborty T, Xu C, Ray MB, 2019, Treatment train for tailings pond water using *Opuntia ficus-indica* as coagulant, *Separation and Purification Technology*, Vol. 211, pp. 448-455.

Yavuz Y, Ocal E, Koparal AS, Ogutveren UB, 2011, Treatment of dairy industry wastewater by EC and EF processes using hybrid Fe–Al plate electrodes, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 86, pp. 964-969.

Recibido: 20 de enero de 2019

Aceptado: 18 de julio de 2019

Chuiza-Rojas, Marco Raúl: Ingeniero Químico Universidad Central del Ecuador (1995), Maestría en Protección Ambiental en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (2011), Maestría en Ingeniería Química de la Universidad de los Andes (2018). Es Docente de la Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química y Escuela de Biotecnología Ambiental de la ESPOCH, Ecuador. Correo electrónico: mchuiza@epoch.edu.ec

Calderón, Hugo: Ingeniero Químico Universidad Estatal de Guayaquil (1989), Maestría en Gestión Ambiental, Universidad del Chimborazo (2000), Magister Scientiae en Ingeniería Química, Universidad de los Andes, Venezuela (2017). Es Docente de la Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Bioquímica y Farmacia de la ESPOCH, Ecuador. Correo electrónico: hcalderon@epoch.edu.ec.

Vargas-Escobar, Jorge Antonio: Ingeniero Químico Escuela Superior Politécnica del Chimborazo (2018), Correo electrónico: joanvaes@correo.ugr.es

Borja-Mayorga, Danielita Fernanda: Ingeniera Química de la ESPOCH, Ecuador, Magister en Seguridad Industrial y Ambiental de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, Magister Scientiae en Ingeniería Química en la Universidad de los Andes, Venezuela (2017). Es Docente de la Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Bioquímica y Farmacia de la ESPOCH, Ecuador. Correo electrónico: dborja@epoch.edu.ec

Rennola-Alarcón, Leonardo.: Ingeniero Químico de la Universidad Simón Bolívar (1978), Maestría en Ingeniería Química y Agrícola en Colorado State University (EE UU, 1980). Es profesor de la Escuela de Ingeniería Química de la ULA.

