



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REDUCCIÓN
DE NIVELES DE EFLUENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS”

Trabajo de investigación para optar el Grado de Bachiller en:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Marilyn Cristina Falcón Llacctas: (0000-0002-1893-2709)

Asesor:

Olga Kostenko Vadimovna: (0000-0001-8895-8982)

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 238 -2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 16 de noviembre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE NIVELES DE EFLUENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS**, presentado por:

- **Marilyn Cristina Falcón LLacctas**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE NIVELES DE EFLUENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS** con N° de registro de la carrera: **081-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Olga Vadimovna Kostenko** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

Método de Electrocoagulación para la reducción de niveles de efluentes de industrias lácteas

Marilyn Cristina Falcón Llacctas¹ y Olga Kostenko^{1*}

¹Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

*Autor de Correspondencia: okostenko@ucientifica.edu.pe

Resumen

La industria láctea es la más importante del sector de alimentos en todo el mundo, debido a que producen alimentos indispensables, como la leche, yogurt, queso y mantequilla. Sin embargo, la gran demanda de productos, las actividades generadas en su proceso productivo, causan impactos negativos en el medio ambiente, contaminando la atmósfera, el agua y suelo. En base a esta problemática se plantean diversos tratamientos biológicos, físico-químico y electroquímico. El tratamiento biológico se puede dar de manera anaeróbica y aeróbica, muchos de ellos son buenos para eliminar algunos contaminantes de las aguas residuales, pero presentan en el proceso de biodegradación como limitación la producción de lodos, en cambio el tratamiento físico-químico no es muy empleado y presenta la dificultad que los reactivos utilizados en este tratamiento para remover la demanda química de oxígeno son muy caros, por otro lado el tratamiento electroquímico, es un método que en los últimos años se está usando con mayor frecuencia, entre los cuales se encuentra la electrocoagulación. La electrocoagulación es un tratamiento muy eficiente y sencillo, frecuentemente empleado para tratar efluentes de las industrias lácteas, con óptimos resultados en corto plazo (demanda química de oxígeno en 58%, en un 100% la turbidez y en 95% los sólidos suspendidos volátiles)

Palabras clave: Industrias lácteas, Electrocoagulación, Efluentes lácteos.

Abstract

The dairy industry is the most important in the food sector worldwide, because they produce essential foods, such as milk, yogurt, cheese and butter. However, the high demand for products, the activities generated in their production process, cause negative impacts on the environment, polluted the atmosphere, water and soil. Based on this problem, several biological, physical-chemical and electrochemical treatments are proposed. The biological treatment can be given anaerobically and aerobically, many of them are good for removing some pollutants from wastewater, but in the process of biodegradation as a limitation the production of sludge, on the other hand, physico-chemical treatment is not very used and presents the difficulty that the reagents used in this treatment to remove the chemical demand for oxygen are very expensive, on the other hand electrochemical treatment, is a method that in recent years is being used more frequently, among which is the electrocoagulation Electrocoagulation is a very efficient and simple treatment, frequently used to treat effluents from dairies, with optimal short-term results (chemical oxygen demand in 58%, turbidity in 100% and volatile suspended solids in 95%).

Key words: Dairy industries, Electrocoagulation, Dairy effluents.

Revisión Teórica

La ganadería es uno de los sectores agrícolas en crecimiento, lo cual se proyecta que para el 2050 aumentará a nivel mundial en un 80%, ya que la producción de leche por las ganaderías se dirige a industrias lácteas, en las cuales se realizan procesos para obtener diversos productos como, mantequilla, yogurt, queso (Sharma, Humphreys, & Holden, 2018).

Los efluentes de la industria láctea se identifican por presentar una cantidad elevada de materia orgánica disuelta, suspendida y coloidal (Borbón, Oropeza, Brillas, & Sirés, 2014).

1. Industria Láctea a nivel mundial y nacional.

La industria de procesamiento de leche es una de las industrias básicas en todo el mundo, por lo que el tratamiento de los efluentes, están siendo atendidas cada vez más (Kolev, 2017). La industria láctea se basa en el procesamiento y fabricación de yogurt, helado, queso y mantequilla (Carvalho, Prazeres, & Rivas, 2013).

El impacto ambiental por las industrias lácteas en Irlanda es muy grande, y está contribuyendo al aumento del cambio climático, debido a que hay presencia de elevadas de temperatura, cambio en los patrones de lluvia y disminución de la radiación solar (Sharma et al., 2018).

En la India se producen anualmente 85 millones de toneladas de productos lácteos, generando aguas residuales principalmente por las operaciones de limpieza y lavado del sistema de producción; se estima que estos efluentes alcanzan los 200 millones al año (Dawood, Kumar, & Sambhi, 2013).

En la zona de Pillaro, Provincia de Tungurahua en Ecuador, existe contaminación en el agua por las descargas de efluentes de industrias lácteas, causadas por el débil control de las autoridades (Santamaría, Álvarez, Santamaría, & Zamora, 2016).

En la región de Frailesca en México, se produce 106,500 litros de lactosuero diarios, liberando 56% de aguas residuales al medio ambiente (Vázquez Esnoval, Pinto Ruiz, Rodríguez Hernández, de la Torre, & de Jesús, 2017).

El Perú en comparación con otros países de Sudamérica, es uno de los países con mejor producción de leche con 37 kg/hab/año, teniendo a Uruguay con una mayor producción de 459 kg/hab/año, seguida por Argentina con 242 kg/hab/año y Chile con 154 kg/hab/año. Además, en el Perú, la industria láctea está en expansión, se oferta 1175658 TM de productos lácteos como leche fluida, en diferentes formatos de presentación (fresca, pauperizada, yogurt, quesos, mantequilla, etc.). Esta leche proceden de 624518 TM que ofrece la industria láctea nacional; sin embargo, las industrias lácteas nacionales solo utilizan 408331 TM de leche fresca y lo restante es exportado, pero en forma de polvo (Piskulich, 2001).

1.2 Etapas de producción de los productos de la industria láctea.

a) Producción de la leche.

La leche se considera un fluido que está conformado por glóbulos grasos, proteínas de suero y suspensiones de colides, sus características fisicoquímicas se formulan en base a la temperatura, pH y concentración (Ashokkumar, Chen, Kentish, Leong, & Martin, 2019, p.270). Falcón (2018), menciona que el proceso productivo de la leche consta de las siguientes etapas, la recepción del insumo, la filtración, el homogenizado, la estandarización, la clarificación, la termización y por último la etapa de pasteurización.

b) Producción de Yogurt.

Para la fabricación del yogurt, se realiza primero un pre tratamiento de la leche, seguida de la homogenización y la pasteurización, la cual se somete a una temperatura de 85°C en un periodo de diez minutos para eliminar las bacterias, y se deja reposar hasta

que llegue a una temperatura de 43°C, luego sigue la etapa de refrigeración, la adición de colorantes, siembra del cultivo de yogur, el llenado del producto, la coagulación y por último la etapa de refrigeración (Sevilla, 2008; Velásquez, 2017).

c) Producción de Queso.

En la elaboración del queso fresco se encuentra la recepción de la leche cruda, la pasteurización a una temperatura de 72°C en un periodo de quince minutos para eliminar del queso bacterias patógenas, la desaireación, el aclarado para eliminar materia suspendida, el acopio, el tratamiento térmico, el moldeo y comprimido, el añadido de la sal, el cual beneficia el desuerado y reduce la actividad enzimática dando el sabor típico al queso, la maduración, la limpieza del producto y por último la desecación del lactosuero (Kushwaha, Mall & Srivastava, 2011; Sevilla, 2008; Velásquez, 2017).

d) Producción de la mantequilla

La mantequilla se realiza a partir de la nata, la cual luego es pasteurizada, desodorizada, pasa por la etapa de maduración, el cual tiene como propósito la cristalización de las grasas y dar aroma, por último se realiza el acabado final (Sevilla, 2008, p.5).

1.3 Efectos ambientales de la industria láctea.

En sus etapas de producción se pueden generar alteraciones ambientales como el consumo de energía eléctrica, efluentes de aguas residuales y producción de lodos (Falcón, 2018, p.22). Es por ello que se considera que la producción de la industria láctea genera alteraciones en la calidad del suelo, agua y aire, por eso es considerada como un peligro para el medio ambiente (Ahmad et al., 2019)

a) Consumo de agua

Se genera mayor consumo de agua en la operación de limpieza del proceso de elaboración de los diversos productos de la industria láctica (Sevilla, 2008).

b) Consumo de energía

Se genera mayor consumo de energía de la producción de leche en la etapa de pasteurización y aseo, en menor intensidad en el precalentamiento y el máximo consumo de energía se da en el enfriamiento, la homogenización, la desaireación y clarificación. En la producción del yogurt y el queso, el mayor consumo de electricidad se da en la pasteurización y refrigeración, en el caso del queso el consumo elevado se da en la pasteurización de la nata, batido y enfriamiento (Sevilla, 2008).

c) Vertidos de aguas residuales

Ahmad *et al.* (2019), menciona que se produce de seis a diez litros de efluentes por cada litro de leche producida. Los efluentes generados en el proceso productivo de lácteos se producen con mayor intensidad en la operación de limpieza y lavado de los equipos como la centrifugadora, aparatos de homogenización, condensación y desaireación en la producción de leche, queso, mantequilla y yogur, y se deduce que son 2.5 veces el volumen de la leche producida (Janczukowicz, Zieliński, & Debowski, 2008; Ramasamy, Gajalakshmi, Sanjeevi, Jithesh, & Abbasi, 2004). Estos efluentes presentan gran cantidad de DQO, elevado contenido de fósforo, DBO, grasas, aceites, proteínas y nitrógeno que se producen en la etapa de limpieza y desinfección, los elevados valores de pH son a causa del empleo de bases y ácidos provenientes de los insumos de limpiezas (Ahmad *et al.*, 2019; Benazzi *et al.*, 2016; Struk-Sokoowska, Rodziewicz, & Mielcarek, 2018; Velásquez, 2017). Estos contaminantes son muy dificultosos para remover (Karadag, Köroğlu, Ozkaya, & Cakmakci, 2015). En el caso de la producción del queso se genera como efluente un suero agrídulce (Janczukowicz *et al.*, 2008), considerado como un subproducto que se produce después de la disminución de la caseína, grasas y

precipitaciones del proceso de producción (Dereli, van der Zee, Ozturk, & van Lier, 2019).

d) Residuos orgánicos

En el proceso de la leche y yogurt se produce restos de plásticos y cartones del envasado, en el caso del queso se produce desperdicios de insumos restantes de los subproductos (Sevilla, 2008).

1.4 Alternativas para Eliminar Efluentes de Industrias Lácteas.

a) Métodos Biológicos.

Este tipo de tratamiento es eficiente para tratar efluentes generados en la industria láctea a causa de su elevada biodegradabilidad (Paridah et al., 2018), pero presenta el inconveniente de que se forman lodos en el proceso de biodegradación (Ahmad et al., 2019). Este método se divide:

- Tratamiento anaeróbico.

El tratamiento anaeróbico de elevada tasa se considera de mayor interés por emplear poco consumo de energía (Muñoz, Oosterkamp, Wang, Spanjers, & van Lier, 2019). Por otro lado, Tirado, Gallo, Carreo, & Mouthon (2016), menciona que este tipo de tratamiento no renueva en su totalidad la materia orgánica y los nutrientes, por lo tanto solicita otro tratamiento adicional. El proceso anaeróbico está ligado a la medida de pH de la producción de los modelos de reactor (Karadag et al., 2015).

Reactor de lodos anaeróbico de flujo ascendente (UASB).

Este tratamiento se emplea de manera eficiente para eliminar contaminantes de las aguas residuales de las industrias lácteas (Morales, 2014). Además, Van Lier, Van der Zee, Frijters, & Ersahin (2015), menciona que este sistema es muy rentable para tratar aguas residuales químicas a escalas industriales, pero con presencia de demanda química

de oxígeno mayores a 42 gL^{-1} (Ahmad et al., 2019). Su sistema es usualmente elaborado a base de material de concreto, el cual está conformado por una secuencia de proceso que comienza por el ingreso del fluido a analizar por las tuberías conectadas en la superficie del reactor, luego se envuelve con un manto de lodos hasta la superficie, transformando el fluido en efluente (Morales, 2014). Por otro lado, Abbasi & Abbasi (2012), mencionan que el proceso de funcionamiento del reactor anaeróbico circula en las aproximaciones del lecho de lodo que se distribuye a paso que el agua tratada se dirige a la superficie con ayuda del lodo, y la microflora incorporada en este, haciendo que se produzca el efecto de remoción sobre el agua tratada, por ello la naturaleza de las biopelículas expuestas en las partículas de lodo y la relación del agua con este último, son factores que definen la eficiencia del UASB. Morales (2014), fundamenta que el reactor anaeróbico de flujo ascendente es eficiente tratando densidades entre 12-60g DQO/l.d, bajo las siguientes características, tiempo de retención hidráulica fue de aproximadamente de seis días con velocidad de carga orgánica ($2-7.3 \text{ DQO/m}^3 \times \text{ día}$), para poder eliminar materia orgánica de 85% hasta 99%. Por otro lado, Ahmad *et al.* (2019), menciona que diversos investigadores recomiendan que el reactor debe funcionar en un tiempo de retención hidráulica de doce horas para poder remover 80 % de la demanda química de oxígeno y ácidos grasos volátiles y en 60% las grasas presentes. Además Ramasamy *et al.* (2004), fundamenta que en diversos estudios se plantean la viabilidad del reactor de lodos anaeróbico de flujo ascendente para eliminar efluentes de la demanda química oxígeno en un 90%. Las ventajas de este sistema es que presenta alta capacidad de eliminar contaminantes, no solicita herramientas de ayuda, además se produce poco lodos y favorece a la eliminación de materia orgánica, sin embargo el reactor requiere una operación especial y elevado requerimiento de lodos de semillas granulares (Goli, Shamiri, Khosroyar, Talaiekhosani, & Sanaye, 2019). Sin embargo Mahmoud, Zeeman,

Gijzen, & Lettinga (2003), menciona que existen varios parámetros que pueden retrasar el proceso de desunión de sólido líquido por filtración por medio del UASB, dichos parámetros se dividen en tres, la primera es en base a las condiciones en que opera el reactor (temperatura, velocidad de carga orgánica, tiempo de retención hidráulica y velocidad de flujo ascendente), el segundo parámetro describe las propiedades del afluente (tamaño de la partícula, concentración, carga de partículas del afluente) y por último se menciona las propiedades del lecho de lodo (orden del tamaño de partículas, sustancias poliméricas extracelulares y carga).

Morales (2014), realizó un estudio del método de UASB para los efluentes de la Planta Piloto de Leche de la UNALM, y obtuvo como resultado la eliminación de la DQO en un 70%, trabajando con un caudal de 75.3 l/día, con tiempo de retención hidráulica de 2.8 días, velocidad aproximada de 0.191 m/h y la rapidez de capacidad orgánica varía entre 0.107 y 0.910 Kg DQO/(m³x día). Otro estudio realizado para comprobar la eficacia, en donde se diseñó un reactor que funcionó durante 24h, en el cual se obtuvo como resultado la remoción de la DQO en un 69%, la DBO en 79%, la concentración de SST se redujo en más del 72%, los sólidos suspendidos volátiles se eliminaron en más del 75%, los aceites y grasas se eliminaron en un 83%, sin embargo, solo se logró eliminar en un 63% los restos de fósforo, estos resultados se pueden ver relacionados con el tiempo de resistencia del lodo presente en el reactor (Tawfik, Sobhey, & Badawy, 2008). Por otro lado, O. Arango & Sanches (2009), realizaron un estudio para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del proceso de elaboración de queso, este modelo de reactor presentó las siguientes características, el tiempo de retención hidráulica utilizada fue de 1,3 días, la velocidad de capacidad de materia orgánica varía entre 1,7 a 18,5 g de DQO/L.d., se obtuvo como resultado la eliminación de la DQO en un 98%, los sólidos totales volátiles en un 97,2% utilizando la rapidez a 9,6 g DQO/L.d, en cambio cuando la

velocidad usado fue de 18,6 g DQO/L.d los resultados de eliminación de la demanda química de oxígeno fue de 77%.

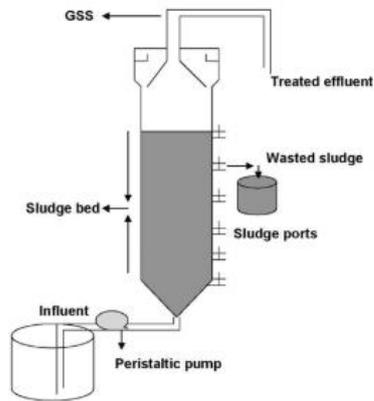


Figura 1. Diseño del reactor de lodos anaeróbico de flujo ascendente (UASB)

Fuente: Tawfik *et al.*, 2008

Carbón activado

El carbón activado es un producto sólido carbonoso con propiedades de área de superficie específica elevadas y una gran cantidad de microporos (mayor a 2nm) (Ronsse, Nachenius, & Prins, 2015). Este tratamiento con carbón activado se emplea como un absorbente en los diferentes vertidos de aguas residuales (Tirado et al., 2016).

En un estudio empleando un coagulador de quitosán, seguido de la adsorción con carbón activado en polvo como pretratamiento, se obtuvo como resultado durante el periodo de adsorción la remoción de 68% de la DBO bajo un pH 4, a un tiempo de 1.5h, con dosis de adsorción de 1.5 g/l, empleando 200 mg/l de los efluentes industriales (Sarkar, Chakrabarti, Vijaykumar, & Kale, 2006).

Filtros percoladores o Biofiltros

Este tratamiento emplea microorganismos estáticos que generan biopelículas que impiden la formación de grandes cantidades de lodos, con bajo uso energético, poco

tiempo de funcionamiento, dando como resultado elevados porcentajes de remoción de materia orgánica (Naz, Saroj, Mumtaz, Ali, & Ahmed, 2015).

Prócel, Posligua, & Banchón (2016), emplearon un sistema de biofiltros para los efluentes de la industria lechera ubicada en San Miguel de Nono en Ecuador, con capacidad de 55 L por cada sector de los tres biofiltros seleccionados, obteniendo porcentajes de remoción de turbidez de 95,2%, 98.9% de DQO, 99.1% de DBO, 94.4% de nitrógeno y 89.1% de fosforo, este sistema empleó tres pasos, el primero consiste en el acopio con aeración y participación de efluentes, el segundo estuvo conformado con tres biofiltros con microorganismos estáticos y el último paso constó de sedimentación con zeolitas.

- ***Tratamiento aeróbico***

El tratamiento biológico aeróbico involucra microorganismos y oxidación de residuos en un ambiente con oxígeno (Kushwaha et al., 2011). Además, este tipo de tratamiento se usa frecuentemente para tratar efluentes de industrias lácteas, sin embargo, presenta poco rendimiento debido a que produce aceleradamente la presencia de filamentos y acidificación a causa del poco rendimiento de amortiguamiento de agua y la elevada lactosa (Ahmad et al., 2019). Por otro lado, Kushwaha, Srivastava, & Mall (2010), mencionan que este sistema requiere mucha energía y el tiempo de inicio es muy prolongado, además necesita de soluciones alcalinas y usualmente requiere de tratamientos adicionales.

En una investigación se elaboró un reactor horizontal con condiciones aerobias para el tratamiento de efluentes lácteos, a partir de lactosuero, con el propósito de presenciar el rendimiento en la remisión de la carga orgánica y contaminantes. Este reactor estuvo elaborado con relleno plástico, con dimensiones de 58mm de diámetro y 750 mm de longitud, se dejó un pequeño espacio en el sistema para la salida de espuma, tuvo como

resultado una eficiencia de remoción 94.5% de DBO y DQO (M. Muñoz, Reina, & Aldás, 2017). Por otro lado, Sinha, Srivastava, Mehrotra, & Singh(2019), realizaron una prueba experimental con un diseño de biodigestor anaeróbico y se logó como resultado la eliminación de un 90 % de la DQO.

Reactor discontinuo secuencial (SBR)

El reactor discontinuo secuencial consiste en el vertido y desocupado, su sistema consta de cuatro periodos, el periodo de llenado, periodo de reacción, periodo de sedimentación y el periodo de vacío. Con este sistema se logró eliminar diversos parámetros contaminantes (Juan Muñoz & Ramos, 2014). Presenta la ventaja de contener elevado rendimiento de eliminación de contaminantes, no requiere mucho mantenimiento y funcionamiento, es eficiente económicamente y da poca producción de lodos, sin embargo necesita elevada energía eléctrica (Goli et al., 2019).

Fraga, García, Hooijmans, Míguez, & Brdjanovic (2017), implementaron una planta piloto de reactor discontinuo secuencial para tratar efluentes lácteos, este sistema tuvo una duración de cuatro meses, el tiempo de retención hidráulica fue de 25 horas, las muestra de efluentes fueron tomadas de dos puntos, uno de los efluentes después de pasar por el tanque de extracción de grasas (concentración de efluente de 1300 mgL⁻¹) y el otro efluente después de pasar por el estanque de eliminación de grasas (385 mg L⁻¹), se obtuvo como resultado el promedio de eliminación de ambas muestras tratadas, en donde se eliminó la DBO en 94.1% y la DBO en 98.1%. En un estudio en donde se diseñó una planta para tratar efluentes lácteos, estuvo conformado por un reactor de filtro anaeróbico y un reactor discontinuo secuencial unidos en serie e implementados con equipos de toma de datos, este sistema estuvo operando 634 días, tasa de afluente de seis a ocho metros, la concentración de la DBO del efluente es aproximadamente de 8-12 Kg DQO / m³,

generando como resultado cantidades de demanda química de oxígeno del efluente alrededor de 8-12 mg/L (Carrasco, Omil, Garrido, Arrojo, & Méndez, 2004).

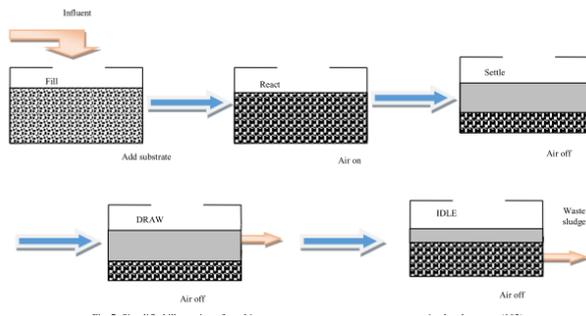


Figura 2. Diseño del reactor discontinuo secuencial (SBR)

Fuente: Goli *et al.*, 2019

b) Procesos físico-químicos

Este tratamiento es eficaz para separar el material orgánico, disminuir la grasa de los productos lácteos y emulsión de proteínas, pero no ocurre lo mismo para la demanda química de oxígeno (Ahmad et al., 2019). Sin embargo, los reactivos empleados en este tratamiento para remover la demanda química de oxígeno son muy caros (Ahmad et al., 2019; Vidal, Carvalho, Méndez, & Lema, 2000). Los tratamientos más empleados de este tipo se encuentran la extracción de aire, precipitación química, oxidación química, adsorción de carbono y osmosis inversa (M. Yousuf A. Mollah, Schennach, Parga, & Cocke, 2001).

- **Precipitación química**

Este tratamiento es muy conveniente para eliminar efluentes de aceite, sin embargo tiene limitaciones por su elevado precio de operación de precipitaciones químicas, además podría originar poluciones externas (An, Huang, Yao, & Zhao, 2017).

c) Tratamiento electroquímico

Este tratamiento proviene de la química y está relacionada con factores eléctricos (Barrera, Bilyeu, Roa, & Bernal, 2011). Por otro lado Markou *et al.* (2017), menciona en un estudio, el efecto de diversos parámetros que se produce en las etapas de los tratamiento electroquímico para tratar efluentes de productos lácteos, los cuales han sido tratados previamente aeróbicamente para eliminar color y demanda química de oxígeno, deduciendo que la densidad de corriente es indispensable para el funcionamiento del proceso electroquímico, puesto que la cantidad química de oxígeno es directamente proporcional a la densidad de corriente (las densidades de 50,10, 200 mA/cm² pueden llegar a eliminar en un 82.4%, 89% y 96.7% la demanda química de oxígeno), también se menciona que la temperatura puede alterar la oxidación electroquímica de los contaminantes lácteos pretratados aeróbicamente (temperaturas mayores a 40°C).

- *Oxidación eléctrica*

Vlyssides, Tsimas, Barampouti, & Mai (2012), realizaron un estudio en donde se estableció un tratamiento previo de oxidación empleando peróxido de hidrogeno y sulfato de hierro, para la eliminación de fluentes de la producción de queso, la cual se logró disminuir en un 80% grasas presentes en la producción.

- Electroflotación o flotación eléctrica

Genc & Goc (2018), realizaron un estudio en donde desarrolló un sistema de electroflotación de primer orden, para tratar agua residual, en la cual se obtuvo como resultado la disminución de la turbidez, se eliminó en un 85% el aceite presente a un potencial de electricidad de 15V a 27cm de longitud del lecho, y con mayor eficiencia a un lecho de 18cm en un tiempo mayor a 60 min.

- Coagulación

La Coagulación es un fenómeno en donde las partículas en suspensión se contrarrestan por un sistema (Carlos Barrera et al., 2017; M. Yousuf A. Mollah et al.,

2001). Este sistema consta de tres etapas comunes, primero se agrega reactivos químicos a los efluentes, con la finalidad de alterar la estabilidad de los componentes contaminantes, luego se realiza un mezclado para que las partículas choquen y se puedan aglomerar y por último se da la sedimentación (Cañizares, Jiménez, Martínez, Rodrigo, & Sáez, 2009). Esta coagulación se produce por los cationes metálicos que a su vez conforman la hidratación de complejos, y en este sistema también interviene aluminio y moléculas de agua (Velásquez, 2017).

1.5 Electrocoagulación.

Este tipo de tratamiento electroquímico es eficiente para tratar la disminución de coloides de aceite en agua (An et al., 2017). La electrocoagulación consta de tres etapas, la cual comienza con la aglomeración que se produce por la oxidación del ánodo de ofrenda, luego se produce la alteración de las partículas suspendidas y por último se da la generación de flóculos (M. Yousuf A. Mollah et al., 2001). Este tratamiento utiliza corriente eléctrica a través de placas de metal, produciendo una desestabilización de las partículas contaminantes, provocando así la coagulación y eliminando materiales coloidales, sólidos disueltos, aguas residuales y contaminantes presentes (Sahu, Mazumdar, & Chaudhari, 2014; Sinha et al., 2019). Melchiors *et al.* (2016), menciona que estas placas pueden ser de hierro o aluminio y son empleados en forma de electrodos de sacrificio o simplemente aportar iones al proceso, los cuales neutralizan las cargas de las partículas (A. Arango, 2005). Se puede acotar que la corriente eléctrica produce la disolución de los electrodos metálicos sumergido en aguas residuales (Bazrafshan, Moein, Kord Mostafapour, & Nakhaie, 2013a). Por otro lado, Velásquez (2017), menciona que para el diseño de un electrocoagulador se debe definir el tipo de reactor que se empleara en el sistema, estos pueden ser continuos o semicontinuo, además es importante identificar la fuente de poder y los materiales a emplear.

El reactor continuo trata con determinadas cantidades de efluentes y presenta como restricción que su condición varía en el tiempo, sin embargo, no es muy costoso y fácil de utilizar (Velásquez, 2017).

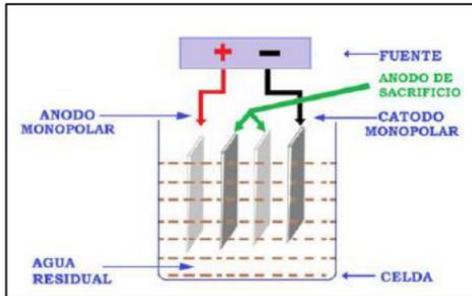


Figura 3. Diseño de electrocoagulación

Fuente: Velásquez, 2017

a) Variables que alteran a la Electrocoagulación

Las variables que alteran a la electrocoagulación son el pH, tiempo, temperatura, los electrodos, densidad de corriente y la ruptura de cloruro de sodio (Velásquez, 2017). La densidad de corriente es una variable y considerable en el tratamiento con electrocoagulación porque contribuye a la eficiencia y la remoción de las poluciones presentes (Apaza, 2018). Por otro lado, Velásquez (2017), menciona que si esta variable es muy extensa existirá el acontecimiento que se malgaste energía, porque una fracción se distribuye para aumentar la temperatura del fluido, además cuando se utiliza este sistema en fases extensas se requiere conservar la densidad del reactor en categoría de 20-25 A/m². El pH es otra variable que se presenta como indispensable para el rendimiento (Apaza, 2018). El tiempo de empleo del reactor está relacionado con la abundancia de sólidos presentes, ya que beneficia a la separación de electrodos, a la floculación y a la aceleración de sólidos, por otro lado la variable de electrodos presenta la dificultad debido a su pasivación (Velásquez, 2017).

b) Ventajas Y Desventajas De La Electrocoagulación

Ventajas de la electrocoagulación (EC) (M. Yousuf A. Mollah et al., 2001).

- Emplea un equipo simple y fácil de manejar.
- El agua sometida a la EC presentara características incoloras e inodoras.
- Los lodos formados son fáciles de deshidratar, ya que son compuestos de óxidos, hidróxidos metálicos.
- Produce efluentes con reducidos contenidos de solidos disueltos totales.
- En el proceso de EC no se añade coagulantes a las aguas residuales (químicos) y debido a eso no provoca que la salinidad presente en el fluido aumente luego del proceso (Kabdaşlı, Arslan-Alaton, Ölmez-Hancı, & Tünay, 2012).
- Los procesos electrolíticos se controlan eléctricamente, reduciendo el costo de mantenimiento.
- La técnica de electrocoagulación se puede acoplar a un panel solar, como fuente de energía.
- La electrocoagulación tiene el beneficio de ser económico y una alternativa ambiental para los efluentes de aguas residuales (Mohammad Y.A Mollah et al., 2004).

Desventaja de la electrocoagulación (EC) (M. Yousuf A. Mollah et al., 2001).

- Emplea electrodos de sacrificio los cuales deben ser reemplazados
- El empleo de la electricidad puede ser costoso en algunos lugares.
- Se puede formar películas de óxido impermeable en el cátodo que puede generar ineficiencia en la electrocoagulación.
- El hidróxido gelatinoso se puede solubilizar en algunos casos.
- Los cationes requieren un espacio amplio de superficie (Moussa, El-Naas, Nasser, & Al-Marri, 2017).

c) Casos prácticos del tratamiento de electrocoagulación

Bazrafshan, Moein, Kord Mostafapour, & Nakhaie (2013), en un estudio deseó comprobar el efecto de los parámetros de voltaje, tiempo de respuesta y la cantidad de electrodos, para lo cual se utilizó electrodos de Al en presencia de electrolitos de KCl para el diseño de la electrocoagulación, obteniendo como resultado la eliminación de la demanda química de oxígeno en 98.84%, la demanda biológica de oxígeno en 97.95% y los sólidos suspendidos totales en 97.75%, este sistema funcionó a 60 V en un periodo de 60 minutos, demostrando así la eficiencia del diseño de electrocoagulación para la remoción de efluentes en industrias lácteas. Por otro lado, Melchioris et al. (2016) en una prueba de laboratorio con agua residual proveniente de la industria láctea utilizó el tratamiento de electrocoagulación con una duración de 60 minutos para reducir los niveles de contaminantes, y se obtuvo como resultado la reducción de la DQO en 97% y 99% en turbidez. Borbón *et al.* (2014), empleo un tratamiento similar en la industria lechera situada en México, utilizando electrodos de aluminio, y como resultado se logró eliminar totalmente la turbidez, la demanda química de oxígeno se redujo en un 90% y en 81% el carbono orgánico total.

En cambio en un estudio en el cual se utilizó la electrocoagulación con celdas de flujo continuos, empleando electrodos de aluminio, se determinó la importancia de la tensión, la distancia entre los electrodos y el tiempo de resistencia hidráulica, así como el rendimiento del proceso, la remoción del color, la demanda química del oxígeno y el carbono orgánico total; se pudo determinar que el tiempo de retención hidráulico debe ser 10 V, la distancia de 1 cm a un intervalo de tiempo de 90 min con densidad de corriente de 13.3 Am, para poder remover el color en 94%, turbidez en 93%, y el carbono orgánico total en 65% y la demanda química de oxígeno 69% (Benazzi et al., 2016). En otro estudio realizado por Tchamango, Nanseu-Njiki, Ngameni, Hadjiev, & Darchen (2010), para

tratar efluentes de una solución acuosa de leche semidesnatada, se diseñó la electrocoagulación con una densidad de corriente de 0.43 A dm^{-2} , a una corriente de 0.2 A en un periodo de funcionamiento de 15 a 210 minutos, con electrodos de aluminio como ánodo, obteniendo como resultado la disminución de la demanda química de oxígeno en 61%, el fósforo en 89%, el nitrógeno en 81% y en 100% la turbidez. Por otro lado Bassala *et al.* (2017), diseñó un sistema de electrocoagulación más eficiente, la cual fue diseñada con veinte electrodos de aluminio unidos en forma bipolar en modo de recirculación, además se sometió a una alta estabilidad eléctrica y se logró remover la turbidez en su totalidad, los sólidos suspendidos en un 80% , la DQO y el ácido fosfórico en un 98%, este resultado se puede deducir que se debe a la elevada superficie activa de los electrodos que ayuda a la formación de coagulantes y la recepción de los electrodos en el reactor que ayuda a la conductividad del proceso, disminuyendo el consume de energía.

Empleando en otro estudio el método de electrocoagulación pero con electrodos de hierro para los efluentes de una pequeña fábrica de producción de leche, sometiendo corriente eléctrica durante quince minutos, se obtuvo como resultado la disminución de demanda química de oxígeno en 58%, en un 100% la turbidez y en 95% los sólidos suspendidos volátiles (Valente, Santos, Marques, & Bonato, 2012). Por otro lado López & Harnisth (2016), realizó el proceso de electrocoagulación para la remoción de efluentes de yogurt, y se evaluaron bajo los parámetros de tiempo, voltaje y cantidad de placas, de esta manera se determinó la remoción de casi en su totalidad de la DQO (93%), se eliminó en un 82% la DBO y en 76% los sólidos suspendidos. En otro estudio dedicado al mismo sector, al usar el mismo sistema se obtuvo como resultado la remoción de 84% de demanda química de oxígeno añadiendo 0.75 g/L de polielectrónico catiónico con 30 mA/cm^2 y a un pH de 4.53, este sistema utilizó un reactor rectangular con placas de hierro

(Tezcan Un & Ozel, 2013). En cambio Tezcan, Kandemir, Erginel, & Ocal (2014), diseñó un estudio similar para tratar efluentes de suero de queso, se empleó un reactor de electrocoagulación continuo, con un ánodo de tipo tornilla de hierro con rotación horizontal, se obtuvo como resultado un efecto lineal en el rendimiento de eliminación de la DQO para las densidades de corriente (40,50,60 mA/cm²) y tiempo (20,40,60 min).

Galvis et al. (2018), menciona que en un estudio realizado para el tratamiento de efluentes derivadas del mismo sector, en el cual se planteó el método de electrocoagulante, empleando un reactor con capacidad para 700 mililitros, en el cual se utilizó electrodos de hierro y aluminio, bajo diferentes intervalos de tiempo y distancias entre electrodos, se obtuvo como efecto una alta eliminación de la concentración de DQO (92.5%) usando el electrodo de aluminio con dos centímetros de distancia en un periodo de diez minutos.

En cambio, en otro estudio se utilizó electrodos de acero, en la cual se pudo comprobar que la eficacia de la demanda química de oxígeno llegó a ser 98% y se determinó que el pH eficiente es 0.6 mA/cm² y el tiempo (aproximadamente de siete un minuto) (Şengil & özacar, 2006).

Conclusión.

Las industrias lácteas generan muchos impactos ambientales en el aire, agua y suelo, por su inadecuada disposición final. Es por ello que entre los diversos métodos de tratamientos que existen para la remoción de efluentes de industrias lácteas, el método electroquímico es el más apropiado debido a que emplean equipos sencillos y simples de utilizar, además no requiere agregar productos químicos, se pueden complementar con energías renovables (paneles solares), el agua sometida a este método reduce en gran

porcentaje sus contaminantes (DQO, DBO, Turbidez y SST) y es amigable con el medio ambiente

Bibliografía.

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012). Formation and impact of granules in fostering clean energy production and wastewater treatment in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1696-1708. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.017>
- Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Almada, R. B., Cruz, A. G., Esmerino, E. A., Vendramel, S. M. R. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 361-372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- An, C., Huang, G., Yao, Y., & Zhao, S. (2017). Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review. *Science of the Total Environment*, 579, 537-556. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.062>
- Apaza, H. (2018). Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos. *Universidad Nacional Agraria la Molina*.
- Arango, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista De Investigación*, II(1), 49-56.
- Arango, O., & Sanches, L. (2009). Tratamiento De Aguas Residuales De La Industria Láctea En Sistemas Anaerobios Tipo UASB. *Revista Faculta de Ciencias Agropecuarias*, 7(2), 24-31.
- Ashokkumar, M., Chen, G. Q., Kentish, S. E., Leong, T. S. ., & Martin, G. J. O. (2019). Membrane Separations in the Dairy Industry. En *Separation of Functional Molecules in Food by Membrane Technology*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815056-6.00008-5>

- Barrera, C., Bilyeu, B., Roa, G., & Bernal, L. (2011). Physicochemical aspects of electrocoagulation. *Separation and Purification Reviews*, *40*(1), 1-24.
<https://doi.org/10.1080/15422119.2011.542737>
- Barrera, Carlos, Castañeda, M., Cacecero, M., Hernández, I., Sanchez, P., & Lugo, V. (2017). Soft drink wastewater treatment by electrocoagulation–electrooxidation processes. *Environmental Technology (United Kingdom)*, *38*(4), 433-442.
<https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1196740>
- Bassala, H., Dedzo, G., Njine, C., Tchekwagep, P., Donkeng Dazie, J., Nanseu-Njiki, C., & Ngameni, E. (2017). Investigation of the efficiency of a designed electrocoagulation reactor: Application for dairy effluent treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, *111*, 122-127.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.07.002>
- Bazrafshan, E., Moein, H., Kord Mostafapour, F., & Nakhaie, S. (2013a). Application of electrocoagulation process for dairy wastewater treatment. *Journal of Chemistry*, *2013*, 7-10. <https://doi.org/10.1155/2013/640139>
- Bazrafshan, E., Moein, H., Kord Mostafapour, F., & Nakhaie, S. (2013b). Application of electrocoagulation process for dairy wastewater treatment. *Journal of Chemistry*, *2013*, 7-10. <https://doi.org/10.1155/2013/640139>
- Benazzi, T., Di Luccio, M., Dallago, R., Steffens, J., Mores, R., Do Nascimento, M. S., ... Ceni, G. (2016). Continuous flow electrocoagulation in the treatment of wastewater from dairy industries. *Water Science and Technology*, *73*(6), 1418-1425.
<https://doi.org/10.2166/wst.2015.620>
- Borbón, B., Oropeza, M., Brillas, E., & Sirés, I. (2014). Sequential electrochemical treatment of dairy wastewater using aluminum and DSA-type anodes.

Environmental Science and Pollution Research, 21(14), 8573-8584.

<https://doi.org/10.1007/s11356-014-2787-x>

Cañizares, P., Jiménez, C., Martínez, F., Rodrigo, M. A., & Sáez, C. (2009). The pH as a key parameter in the choice between coagulation and electrocoagulation for the treatment of wastewaters. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 158-164.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.073>

Carrasco, E. F., Omil, F., Garrido, J. M., Arrojo, B., & Méndez, R. (2004). Advanced monitoring and supervision of biological treatment of complex dairy effluents in a full-scale plant. *Biotechnology Progress*, 20(3), 992-997.
<https://doi.org/10.1021/bp034211u>

Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the Total Environment*, 445-446, 385-396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038>

Dawood, A. T., Kumar, A., & Sambhi, S. S. (2013). Study on Anaerobic Treatment of Synthetic Milk Wastewater under Variable Experimental Conditions. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2(1), 17-23.
<https://doi.org/10.7763/ijesd.2011.v2.90>

Dereli, R. K., van der Zee, F. P., Ozturk, I., & van Lier, J. B. (2019). Treatment of cheese whey by a cross-flow anaerobic membrane bioreactor: Biological and filtration performance. *Environmental Research*, 168(September 2018), 109-117.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.021>

Falcón, G. (2018). *Análisis del carbón activado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria láctea «Monteverde» en el barrio Rocafuente Canton de Pillaro Provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato.

- Fraga, F. A., García, H. A., Hooijmans, C. M., Míguez, D., & Brdjanovic, D. (2017). Evaluation of a membrane bioreactor on dairy wastewater treatment and reuse in Uruguay. *International Biodeterioration and Biodegradation*, *119*, 552-564. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.025>
- Galvis, P., Natalie, C., Rueda, V., Alejandra, M., Antonio, R., & Gil, S. (2018). *Tratamiento piloto de electrocoagulación aplicado en aguas residuales derivadas de procesos con lácteos dairy processes*. 6-9.
- Genc, A., & Goc, S. (2018). Electroflotation of oily wastewater using stainless steel sponge electrodes. *Water Science and Technology*, *78*(7), 1481-1488. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.422>
- Goli, A., Shamiri, A., Khosroyar, S., Talaiekhosani, A., & Sanaye, R. (2019). *A Review on Different Aerobic and Anaerobic Treatment Methods in Dairy Industry Wastewater*. (February).
- Janczukowicz, W., Zieliński, M., & Debowski, M. (2008). Biodegradability evaluation of dairy effluents originated in selected sections of dairy production. *Bioresource Technology*, *99*(10), 4199-4205. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.077>
- Kabdaşlı, I., Arslan-Alaton, I., Ölmez-Hancı, T., & Tünay, O. (2012). Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: a critical review. *Environmental Technology Reviews*, *1*(1), 2-45. <https://doi.org/10.1080/21622515.2012.715390>
- Karadag, D., Köroğlu, O. E., Ozkaya, B., & Cakmakci, M. (2015). A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater. *Process Biochemistry*, *50*(2), 262-271. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.11.005>
- Kolev, A. (2017). General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater

-a review. *Food Technology and Biotechnology*, 55(1), 14-28.
<https://doi.org/10.17113/ft b.55.01.17.4520>

Kushwaha, J. P., Mall, I. D., & Srivastava, V. C. (2011). An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(5), 442-452. <https://doi.org/10.1080/10408391003663879>

Kushwaha, J. P., Srivastava, V. C., & Mall, I. D. (2010). Treatment of dairy wastewater by commercial activated carbon and bagasse fly ash: Parametric, kinetic and equilibrium modelling, disposal studies. *Bioresource Technology*, 101(10), 3474-3483. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.002>

López, P., & Harnisth, A. (2016). *Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea (Dairy industry wastewater electrocoagulation)*. 1, 13-21. Recuperado de <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

Mahmoud, N., Zeeman, G., Gijzen, H., & Lettinga, G. (2003). Solids removal in upflow anaerobic reactors, a review. *Bioresource Technology*, 90(1), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00095-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00095-6)

Markou, V., Kontogianni, M. C., Frontistis, Z., Tekerlekopoulou, A. G., Katsaounis, A., & Vayenas, D. (2017). Electrochemical treatment of biologically pre-treated dairy wastewater using dimensionally stable anodes. *Journal of Environmental Management*, 202, 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.046>

Melchioris, M. S., Piovesan, M., Becegato, V. R., Becegato, V. A., Tambourgi, E. B., & Paulino, A. T. (2016). Treatment of wastewater from the dairy industry using electroflocculation and solid whey recovery. *Journal of Environmental Management*, 182, 574-580. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.022>

- Mollah, M. Yousuf A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC)- Science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29-41. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00176-5)
- Mollah, Mohammad Y.A, Morkovsky, P., Gomes, J. A. G., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1-3), 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009>
- Morales, E. (2014). *Evaluación de la tratabilidad del efluente generado por la Planta Piloto de leche UNALM aplicando un Reactor UASB*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Moussa, D. T., El-Naas, M. H., Nasser, M., & Al-Marri, M. J. (2017). A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. *Journal of Environmental Management*, 186, 24-41. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.032>
- Muñoz, Juan, & Ramos, M. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Universidad Militar Nueva Granada - Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, (5 Mayo 2014), 49-66.
- Muñoz, Julian, Oosterkamp, M., Wang, W., Spanjers, H., & van Lier, J. (2019). Comparative performance of upflow anaerobic sludge blanket reactor and anaerobic membrane bioreactor treating phenolic wastewater: Overcoming high salinity. *Chemical Engineering Journal*, 366(February), 480-490. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.097>
- Muñoz, M., Reina, J., & Aldás, M. B. (2017). Evaluación de un reactor aerobio piloto con medio de soporte de polietilentereftalato (PET) para tratamiento de efluente lechero.

Enfoque UTE, 7(4), 31. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.112>

Naz, I., Saroj, D. P., Mumtaz, S., Ali, N., & Ahmed, S. (2015). Assessment of biological trickling filter systems with various packing materials for improved wastewater treatment. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 36(4), 424-434. <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.951400>

Paridah, M. ., Moradbak, A., Mohamed, A. ., Owolabi, F. abdulwahab taiwo, Asniza, M., & Abdul Khalid, S. H. . (2018). Physico-Chemical Treatment of Dairy Industry Wastewaters: A Review. *Intech, i(tourism)*, 13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/57353>

Piskulich, R. (2001). Mercado peruano de Lácteos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru*, 12(2), 29-32.

Prócel, D., Posligua, P., & Banchón, C. (2016). *Biodegradación de contaminantes orgánicos de la industria láctea (Biodegradation of organic contaminants from the dairy industry)*. 22-32.

Ramasamy, E. V., Gajalakshmi, S., Sanjeevi, R., Jithesh, M. N., & Abbasi, S. A. (2004). Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresource Technology*, 93(2), 209-212. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.11.001>

Ronsse, F., Nachenius, R. W., & Prins, W. (2015). Carbonization of Biomass. En *Recent Advances in Thermochemical Conversion of Biomass*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63289-0.00011-9>

Sahu, O., Mazumdar, B., & Chaudhari, P. K. (2014). Treatment of wastewater by electrocoagulation: A review. *Environmental Science and Pollution Research*,

21(4), 2397-2413. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2208-6>

Santamaría, E., Álvarez, F., Santamaría, E., & Zamora, M. (2016). Characterization of water quality parameters to reduce pollution during the processing of milk. *Agroindustrial science*, (March), 13-26. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.01.02>

Sarkar, B., Chakrabarti, P. P., Vijaykumar, A., & Kale, V. (2006). Wastewater treatment in dairy industries - possibility of reuse. *Desalination*, 195(1-3), 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.11.015>

Şengil, I. A., & özacar, M. (2006). Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 137(2), 1197-1205. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.009>

Sevilla, E. (2008). *Vertidos en el Sector Lácteo*. 1-22. Recuperado de [1] M. Profesional, M. Ambiental, and E. Organizaci, “Master Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Contaminación de las aguas. Sector Lácteo,” pp. 1–22, 2006.

Sharma, P., Humphreys, J., & Holden, N. (2018). The environmental impact of dairy production on poorly drained soils under future climate scenarios for Ireland. *Journal of Environmental Management*, 223(June), 625-632. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.074>

Sinha, S., Srivastava, A., Mehrotra, T., & Singh, R. (2019). A Review on the Dairy Industry Waste Water Characteristics, Its Impact on Environment and Treatment Possibilities. *Emerging Issues in Ecology and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99398-0>

Struk-Sokoowska, J., Rodziewicz, J., & Mielcarek, A. (2018). Effect of dairy wastewater

- on changes in COD fractions in technical-scale SBR type reactors. *Water Science and Technology*, 2017(1), 156-169. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.099>
- Tawfik, A., Sobhey, M., & Badawy, M. (2008). Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desalination*, 227(1-3), 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.06.023>
- Tchamango, S., Nanseu-Njiki, C. P., Ngameni, E., Hadjiev, D., & Darchen, A. (2010). Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. *Science of the Total Environment*, 408(4), 947-952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.026>
- Tezcan, U., Kandemir, A., Erginel, N., & Ocal, S. E. (2014). Continuous electrocoagulation of cheese whey wastewater: An application of response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, 146, 245-250. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.006>
- Tezcan Un, U., & Ozel, E. (2013). Electrocoagulation of yogurt industry wastewater and the production of ceramic pigments from the sludge. *Separation and Purification Technology*, 120, 386-391. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.09.031>
- Tirado, D., Gallo, L., Carreo, D., & Mouthon, J. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Producción + Limpia*, 11(1), 171-184. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n1a16>
- Valente, G., Santos, R., Marques, J., & Bonato, L. (2012). *The efficiency of electrocoagulation in treating wastewater from a dairy industry , Part I: Iron electrodes.* (August 2014), 37-41. <https://doi.org/10.1080/03601234.2012.646174>

- van Lier, J. B., van der Zee, F. P., Frijters, C. T. M. J., & Ersahin, M. E. (2015). Celebrating 40 years anaerobic sludge bed reactors for industrial wastewater treatment. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, *14*(4), 681-702. <https://doi.org/10.1007/s11157-015-9375-5>
- Vázquez Esnoval, C. O., Pinto Ruiz, R., Rodríguez Hernández, R., de la Torre, J. C., & de Jesús, A. G. (2017). Uso, producción y calidad nutricional del lactosuero en la región central de Chiapas. *Use, production and nutritional quality of whey milk in the central region of Chiapas.*, *21*(1), 65-76. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=123998536&site=ehost-live>
- Velásquez, D. (2017). *Aplicación del metodo de electrocoagulación al efluente de la planta piloto de leche «La Molina»* (Universidad Agraria la Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3106>
- Vidal, G., Carvalho, A., Méndez, R., & Lema, J. M. (2000). Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresource Technology*, *74*(3), 231-239. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00015-8)
- Vlyssides, A., Tsimas, E., Barampouti, E. M. P., & Mai, S. T. (2012). Anaerobic digestion of cheese dairy wastewater following chemical oxidation. *Biosystems Engineering*, *113*(3), 253-258. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.09.001>