



## ANEXO 1

### FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

#### 1. Título del proyecto

**OPTIMIZACION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PLANTAS QUESERAS POR ELECTROCOAGULACIÓN - FLOTACIÓN EN UN SISTEMA CONTINUO**

#### 2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
Medio Ambiente	Recursos Naturales y medio ambiente	Tecnologías Ambientales y Recursos Naturales

#### 3. Duración del proyecto (meses)

**12 meses**

#### 4. Tipo de proyecto

Individual	<input type="radio"/>
Multidisciplinario	<input checked="" type="radio"/>
Director de tesis pregrado	<input type="radio"/>

#### 4. Datos de los integrantes del proyecto

Apellidos y Nombres	Marleni Yovanna Valencia Pacho
Escuela Profesional	Ingeniería Química
Celular	951862690
Correo Electrónico	mvalencia@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	Jose Nestor Mamani Quispe
Escuela Profesional	Ingeniería Química
Celular	966152819
Correo Electrónico	jomamani@unap.edu.pe

#### I. Título

OPTIMIZACION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PLANTAS QUESERAS POR ELECTROCOAGULACIÓN - FLOTACIÓN EN UN SISTEMA CONTINUO

#### II. Resumen del Proyecto de Tesis

El proceso de electrocoagulación – flotacion remueve la materia organica de las aguas residuales de las plantas queseras, sin embargo, en la bibliografía no se encontro información referente a la optimización de este proceso, es por ello, que en el presente



proyecto se plantea una metodología de superficie de respuesta (RSM), enfocándonos en los parámetros de tiempo de tratamiento, pH de la solución y densidad de corriente. Para ello utilizaremos electrodos de aluminio como cátodo y ánodo, la celda será de vidrio con un volumen de 500 ml en sistema continuo, donde, se analizará la eficiencia de remoción de la materia orgánica. Los valores de los parámetros óptimos se determinarán utilizando software estadístico. Este estudio mostrará la optimización del proceso de electrocoagulación y electroflotación para la remoción de la materia orgánica, lo que también nos permitirá proponer un modelo de remoción.

### III. Palabras claves (Keywords)

Materia Orgánica, Optimización, electrocoagulación-flotación, sistema continuo

### IV. Justificación del proyecto

La ciudad de Ayaviri considerada la capital ganadera del Perú, alberga a las principales queseras del sur del país, existiendo un total de 11 plantas con planes de negocios enfocados a la articulación comercial en la región Puno, los que generaron ventas de más de S/. 2'500.000, beneficiando a 792 productores de leche; esto en el marco del Programa Nacional de Quesos Madurados y con el apoyo de Sierra exportadora (agraria.pe).

Donde, el proceso de fabricación del queso tiene los siguientes pasos: homogeneización de la leche, pasteurizado, cuajado de la leche, moldeado y prensado, salado y maduración, se produce aproximadamente 9 litros de agua residual por cada kilogramo de queso producido.

Las aguas residuales generadas por la industria quesera, tiene alto contenido de materia orgánica, aceites, grasas y sales. Estas aguas son vertidas de manera inadecuada al sistema de alcantarillado público, generando incrustaciones en los canales que conducen el agua residual hasta las plantas de tratamiento. Así mismo, los aceites y grasas tienen la tendencia a oxidarse reduciendo el oxígeno disuelto en las aguas, así también, tienden a formar capas en la superficie dificultando la transferencia de oxígeno.

Es así, que se tiene la necesidad de un proceso ecológico y económico que permita tratar esta agua residual en la misma planta quesera. La optimización del proceso de electrocoagulación – flotación, permitirá obtener los valores óptimos, así como, la identificación del efecto y la importancia de los parámetros de pH, densidad de corriente y tiempo de residencia en la remoción de materia orgánica.

### V. Antecedentes del proyecto

Warren (2019) investigó la electrocoagulación y electroflotación para reducir contenido orgánico y turbidez en aguas residuales urbanas simuladas, donde, la electrocoagulación es una propuesta que soluciona problemas de logística, reduce compra y almacenaje de reactivos químicos y se producirá cuando es necesario, los residuos ocasionados por la electrocoagulación son retirados en forma de espuma sobre la celda y tratados posteriormente mediante una filtración. Utilizó el sistema que opera como un reactor electrolítico tipo batch a escala laboratorio, con capacidad para tratar 11 litros de aguas residuales (simulada), en la cual están sumergidos los electrodos, 4 electrodos de aluminio (como ánodos) y 4 electrodos de acero comercial (como cátodo), hizo pruebas usando solamente aluminio (prueba 26) y sólo hierro (prueba 27), en el caso de sólo aluminio obtuvieron una turbidez de 4,88 NTU y 578 mg/L de DQO y con el hierro una turbidez de 21,2 NTU y 322 mg/L de DQO. Los resultados indicaron que al utilizar una corriente de 1,94 A para el Fe y 2,11 A para el Al, por 90 minutos, 30 minutos más sobre el estándar de las pruebas, lo que significa menos corriente con un tiempo más prolongado (producción lenta de iones), originó el otro caso exitoso, en términos de DQO final 452 mg/L reducción del 86,9% y de 98,7% en turbidez, y un contenido residual de Fe 3,19 mg/L y de Al de 10;71 mg/L.



Liu et al. (2019) realizaron el tratamiento de aguas residuales contaminadas con petróleo mediante el proceso de electrocoagulación, analizaron el efecto de la densidad de corriente, pH inicial, concentración del petróleo, y el tipo de electrodo utilizado con el fin de optimizar la remoción del porcentaje de petróleo y turbidez en función del tiempo. Encontraron que el proceso es mas eficiente al remover la turbidez y del petróleo a elevada densidad de corriente, por otro lado, el proceso de remoción de la turbidez y del petróleo cuando el pH es menor. Así mismo, obtuvieron mejores resultados cuando utilizaron al aluminio como electrodo catódico y anódico. Lograron una remoción del petróleo del 98,99% y de remoción de la turbidez del 99,74% cuando la densidad de corriente fue de 4 mA/m<sup>2</sup>.

Nawarkar & Salkar (2018) utilizaron paneles solares como fuente de energía en el tratamiento de aguas residuales de la municipales mediante el proceso de electrocoagulación en un sistema continuo. Los parámetros que analizaron, fueron: densidad de corriente (8-64 A/m<sup>2</sup>) y el tiempo de residencia en el reactor (4-24 min) para analizar la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), la turbidez y los solidos disueltos totales (SDT). El reactor utilizado fue de un volumen de 1,6 L, con un total de 6 electrodos de aluminio los que fueron el cátodo y ánodo distribuidos alternativamente. Encontraron que la máxima eficiencia de remoción fue del 90% de la DQO, 56% de turbidez y 49,78% de solidos disueltos totales (SDT) a una densidad de corriente de 48 A/m<sup>2</sup> y un tiempo de residencia de 16 minutos.

Garcia-Garcia et al. (2015) investigaron el tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación-electrooxidación alimentados por celdas solares, cuyo objetivo fue la eliminación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), compuestos orgánicos totales (COT), el color y turbidez. El proceso de la electrocoagulación lo llevaron a cabo con electrodos de cobre como ánodo y cátodo con una área de 0,00125 m<sup>2</sup>, con una intensidad de corriente de 1-3 A. La máxima remoción lo lograron a un pH 4, alcanzando el 89% de DQO, 97% de color, 91% de turbidez y solo el 48% de COT, con el fin de mejorar la eliminación de COTA realizaron la electrooxidación con un electrodo anódico de diamante bañado en boro, y el electrodo catódico de cobre, alcanzando un remoción del 97% de COT, 99,7 de DQO, 100% de color y 95% de turbidez.

Marmanis et al. (2014) trataron aguas residuales con colorantes emitidos por la industria textil, utilizaron un reactor de 500 ml de volumen, los electrodos utilizados fueron de aluminio para el cátodo y el ánodo, donde, el tamaño del electrodo fue de 49 cm<sup>2</sup>. La fuente de energía fue alimentada por celdas fotovoltaicas de un área de 1,63 m<sup>2</sup>. El proyecto investiga la eficiencia de las variables dependientes, tales como, el pH inicial, conductividad, tiempo de residencia, flujo de la solución, y la irradiación solar, teniendo como variables dependientes a la remoción de la turbidez y la demanda química de oxígeno (DQO). Resultado una remoción de la turbidez de 103 a 0,2 NTU que representa un 99%, la remoción del DQO fue del 65% para un pH de 5,6 ; densidad de corriente de 15 mA/cm<sup>2</sup>, una conductividad de 1600  $\mu$ S y un tiempo de residencia de 40 min.

Zhang et al. (2013) removieron fosfato de aguas subterráneas utilizando el proceso de electrocoagulación alimentado con energía obtenida por módulos fotovoltaicos. La variable dependiente fue la remoción de Fosfato Total (FT). La cinética de remoción es de primer orden. Encontraron que la distancia optima de separación de los electrodos es de 25 mm y un rango de conductividad de 765-1135  $\mu$ S/cm, donde, la remoción de Fosfato Total (FT) se incrementa con el aumento de módulos de celdas fotovoltaicas, lo que representa un incremento en la densidad de corriente, alcanzando una remoción del  $97,77 \pm 2,13\%$

Arango (2011) estudio la remoción de tartrazina en soluciones en soluciones acuosas utilizando por electro coagulación con electrodos de hierro y aluminio. Utilizo una solución de agua residual sintética con una concentración de 100 ppm de tartrazina grado comercial para alimentos, las variables dependientes fueron el porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el porcentaje del colorante. Por otro lado, las variables independientes fueron: el PH el cual varia de 4,6 y 8, la densidad de corriente de 32,43 y 43,23 A/m<sup>2</sup> y finalmente el tiempo de 4,8 y 12 minutos, para analizar los datos se utiliza el diseño experimental factorial 3x2x3. El resultado más óptimo se encontró en las siguientes condiciones: pH de 4, densidad de corriente de 43,23 A/m<sup>2</sup> y un tiempo de 12 minutos donde



lograron una remoción del 95,5% de DQO y 99,4% de colorante.

Armainac & Cortón (2010) analizaron las condiciones operacionales más eficientes para la separación de sólidos presentes a través del método de electrocoagulación, analizando la influencia de las variables y determinando las condiciones empleando electrodos de hierro. Utilizaron un electrocoagulador a escala de laboratorio el cual está compuesto por electrodos planos de hierro, para energizar el sistema se utilizó una fuente de corriente directa, obtuvieron un 42,87% de remoción de color y 10,31 g de sólidos en la espuma. Los resultados indican que a medida que aumenta la densidad de corriente se obtiene mayor cantidad de sólidos disueltos en la espuma, mientras que el sólido que se obtiene en el lodo permanece constante.

Morales & Acosta (2010) realizaron pruebas para el sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas galvánicas. Utilizaron el principio de un reactor batch, donde conectaron a una fuente de voltaje de (50 a 60 dc) de corriente directa (de 3 A), recolectaron 10 litros de las aguas descargadas en el alcantarillado de las instalaciones de la empresa Compañía Eléctrica Ltda. con esta muestra realizaron los ensayos y caracterizaciones, encontraron que el pH osciló entre 0-1 con papel indicador y 1,40 con el pH metro Schott. Obtuvieron una remoción en Cr del 51,65% Pb del 50%, Zn del 47,37%, las cuales a pesar de la remoción producida tienen valores superiores a las normativas. Alcanzaron una remoción de Cr, Cr+6, Ni, Pb y Zn en un 51,65; 18,09; 50 y 47,37%, respectivamente.

Arango & Garcés (2009) realizaron pruebas de remoción del colorante azoico amaranto de soluciones acuosas mediante electrocoagulación. Utilizaron agua sintética con una concentración de 100 ppm de rojo amaranto grado comercial para alimentos, los parámetros que analizaron fueron: el PH en los niveles de 4,6 y 8 la densidad de corriente (J) de 32,26 y 40,86 A/m<sup>2</sup> y el tiempo de 5,10 y 15 minutos, donde mantuvieron constante la conductividad en 1025  $\mu$ S/cm. Los resultados mostraron que aun pH de 4, densidad de corriente de 40,86 A/m<sup>2</sup> y un tiempo de 15 minutos alcanzaron una remoción de 98,3%, en las mismas condiciones la remoción del color fue del 99,30%.

Dávila, Marriaga & Machuca (2008) analizaron la remoción de soluciones totales presentes en la vinaza proveniente de una destilería de alcohol mediante el proceso de electrocoagulación–electro flotación, utilizaron electrodos de aluminio y como variables de operación fueron: PH inicial, concentración de electrolito y densidad de corriente. Utilizaron una celda electrolítica de 250 ml con arreglo mono polar de los electrodos y una velocidad de agitación de 80 rpm por minuto, una fuente de corriente GPS-S, los electrodos con un área sumergida de 32 cm<sup>2</sup> tuvieron 1 cm de separación y los niveles usados fueron: densidad de corriente de 20, 40 y 60 mA/cm<sup>2</sup>; PH de 4,7 y 9; y una agitación de 4000 ppm, encontraron que la vinaza sin tratar presenta un porcentaje de sólidos totales de 22,98%, PH de 4,35 y conductividad eléctrica de 28,4 mS/m. Lograron una reducción de los sólidos totales en un 37%.

Tezcan Un et al., (2014) estudiaron, el tratamiento de aguas residuales de suero de queso en un reactor de electrocoagulación continuo de diseño único, con un ánodo de tipo tornillo giratorio horizontal de hierro en el modo continuo. Mediante Metodología de superficie Respuesta. Determinando una región óptima caracterizada por valores bajos de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Como resultado de los experimentos, obtuvieron un efecto lineal en la eficiencia de remoción de DQO para la densidad de corriente y el tiempo de retención, mientras que el pH inicial de las aguas residuales tuvo un efecto cuadrático en la eficiencia de remoción de DQO. Definiendo el modelo matemático no lineal de mejor ajuste, con un valor de coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) del 85%. Una concentración inicial de DQO de 15.500 mg/L se redujo a 2112 mg/L con una eficiencia de eliminación del 86,4 %.

Varank & Sabuncu, (2015) aplicaron el enfoque de la metodología de superficie de respuesta utilizando el diseño compuesto central para desarrollar un modelo matemático y optimizar los parámetros del proceso para la eliminación de DQO, color, ortofosfato, TSS y turbidez de las aguas residuales lácteas mediante el proceso de electrocoagulación con



electrodos de hierro y aluminio. El modelo de regresión de segundo orden fue desarrollado para predecir las eficiencias de remoción usando el programa de software Statgraphics Centurion XVI.I. Las condiciones óptimas para la remoción de DQO fueron ser 5.06 min para el tiempo de reacción, 5.0 para pH y 50.5 A/m<sup>2</sup> para densidad de corriente con electrodos de Al, mientras que 5.21 min para tiempo de reacción, 5 para pH y 65 A/m<sup>2</sup> para densidad de corriente con electrodos de Fe. Logrando altas eficiencias de remoción (98.91% COD y 99.78% remoción de ortofosfato con electrodos de Al, y 98.84% COD y 98.24% remoción de ortofosfato con electrodos de Fe) bajo condiciones óptimas.

Abbasi et., al (2021) Evaluaron el rendimiento de un nuevo reactor de electrocoagulación continua (EC) a escala de laboratorio que utiliza electrodos de varilla de hierro (Fe) (ánodo y cátodo) para tratar aguas residuales reales de procesamiento de regaliz. Empleando la metodología de superficie de respuesta (RSM) para investigar los efectos de parámetros importantes como: densidad de corriente (CD), tiempo de electrólisis, intensidad de mezcla y concentración de NaCl para electrodos de varilla de Fe sobre la eficiencia de eliminación de color, DQO soluble (DQOs), y turbidez. Evaluaron el efecto del diseño del reactor en el rendimiento general del proceso. Alcanzando eficiencias de eliminación de color y DQO del 94,6 % y 90,1 %, respectivamente, para el sistema EC utilizando electrodos de varilla de Fe en condiciones óptimas: tiempo de electrólisis (71,8 min), CD (28 mA/cm<sup>2</sup>), intensidad de mezcla (45 rpm). Mientras que en el reactor EC utilizando electrodos de placa de Fe, se obtuvieron el color óptimo (tiempo de electrólisis de 81,8 min, densidad de corriente de 35 A/cm<sup>2</sup> e intensidad de mezcla de 45 rpm) y eliminación de DQO de 90,1 % y 89,4 %, respectivamente. Los datos revelaron que los electrodos de varilla de Fe proporcionaron un mejor rendimiento de tratamiento que los electrodos de placa de Fe, teniendo en cuenta que el tiempo óptimo de electrólisis y la densidad de corriente aplicada.

Benaissa et al., (2016) realizaron el tratamiento de aguas residuales lácteas mediante electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio. Los efectos de los parámetros operativos, como el tiempo de electrólisis (0–60 min), el pH inicial (2–12), la densidad de corriente (2,5–35 mA/cm<sup>2</sup>) y la concentración de electrolitos (NaCl), evaluando para las condiciones óptimas. Los resultados experimentales fueron que, a mayores eficiencias de remoción de la turbidez total, DQO y DBO<sub>5</sub> alcanzaron, respectivamente, 98.91, 74.56 y 96.28% en las condiciones óptimas (tiempo de operación de 30 min, pH inicial de 7, densidad de corriente de 14 mA /cm<sup>2</sup>, y concentración de electrolitos de 1 g/L).

## VI. Hipótesis del trabajo

Se determinará los valores óptimos de los parámetros de pH de la solución, densidad de corriente y tiempo de residencia en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de las plantas queseras en un sistema continuo tratados mediante el proceso de electrocoagulación – flotación.

## VII. Objetivo general

Determinar los parámetros óptimos en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de las plantas queseras en un sistema continuo mediante el proceso de electrocoagulación – flotación.

## VIII. Objetivos específicos

- Caracterizar las aguas residuales de la planta quesera el Trébol – Ayaviri.
- Determinar la eficiencia de remoción de la materia orgánica variando el pH, la densidad de corriente y el tiempo de residencia.
- Determinar el modelo matemático de remoción de materia orgánica óptimo.

## IX. Metodología de investigación

### Caracterizar el agua residuales de la planta quesera Trebol - Ayaviri.

Para este trabajo de investigación se realizará una caracterización inicial de las aguas residuales de la planta quesera El Trebol, ubicada en el distrito de Ayaviri, provincia de Melgar, departamento de Puno – Perú. En la Tabla 1 se detalla los parámetros que se analizarán inicialmente.

Tabla 1. Caracterización inicial de las aguas residuales queseras.

Parámetro	Unidad
pH	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L
Turbiedad	NTU
Conductividad	ms/cm
Sólidos Totales Disueltos	mg/L

Los procedimientos para el análisis de los parámetros iniciales de las aguas residuales serán basados en el Standard Methods (APH Association, 2005). Todos los productos químicos utilizados para este estudio serán de la marca Sigma Aldrich.

### Determinar los parámetros de diseño y construcción de la celda electrocoagulación – flotación.

El volumen de la celda de electrocoagulación-flotación se determinará mediante el uso de un trazador, una solución con 0,8 M de NaCl, el cual tiene una relación directamente proporcional de la concentración con la conductividad.

$$Q=v/t \quad (1)$$

donde, Q es el caudal (L/h), v es el volumen del reactor (L) y t es el tiempo de residencia (minutos), en función a ello, se diseñará una celda con las siguientes características de 15 cm de largo, 07 cm de ancho y 10 cm de alto, el cual será construido de material de vidrio, dividido en dos zonas; zona de reacción y la zona de sedimentación (Figura 1). Se utilizará electrodos de aluminio que tendrán la función de cátodo, y electrodos de aluminio que actuarán como ánodo, que estarán separados por 1 cm (Nawarkara & Salkarb, 2019; Benaissa et al. 2014), el área total de electrodos anódico y catódicos serán analizados en función de la eficiencia de remoción experimental q se obtenga, así como los equipos y la energía eléctrica generada en los paneles fotovoltaicos.



Figura 1. Diseño de sistema de electrocoagulación -electroflotación en sistema continuo

En la figura 2 se detalla el proceso de electrocoagulación – flotación en dos electrodos anódico y catódico, donde el aluminio del electrodo es oxidado y reacciona con el hidróxido, formando trióxido de aluminio que es conocido como floculante, por otro lado, se tiene la generación del gas de hidrogeno que forma burbujas los que forman el proceso de electro flotación.

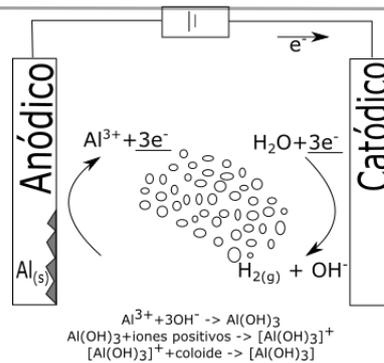


Figura 2. esquema del proceso de electrocoagulación - electroflotación

## Optimización del proceso de tratamiento de electrocoagulación – electroflotación

Para el proceso de experimentación se tomará en cuenta el método de superficie respuesta (RSM)

### Diseño experimental:

El diseño experimental será RSM con tres variables de proceso o factores ( $k=3$ ). Los factores serán la densidad de corriente (X1), tiempo de residencia en el reactor (X2) y el pH (X3). Por lo que este diseño estadístico será utilizado en las dos etapas de la investigación por adecuarse a los ensayos a realizar (Montgomery, 2009)

Símbolo	Nombre de los factores	Niveles			Unidad
		B	M	A	
X1	Densidad de la corriente	-1	0	1	mA/cm <sup>2</sup>
X2	Tiempo de residencia	-1	0	1	1 min
X3	pH de la solución	-1	0	1	1

\* Para fijar los niveles (alto, medio y bajo) se realizó una revisión bibliográfica de los proyectos realizados en el tratamiento de aguas residuales por electrocoagulación por (Marmanis et al., 2015), (Nawarkar & Salkar, 2019), (Garcia-Rodriguez et al., 2020) y Arango (2011). La significancia de los efectos de cada factor se analizará por un análisis de varianza (ANOVA) usando la F-test.

## X. Referencias

- Abbasi, S., Zinatizadeh, A. A., Mirghorayshi, M., Zinadini, S., & McKay, T. (2021). Electrocoagulation technique for continuous industrial licorice processing wastewater treatment in a single reactor employing Fe-rod electrodes: Process modeling and optimization and operating cost analysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 106686. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106686>
- Akansha, J., Nidheesh, P. V., Gopinath, A., Anupama, K. V., & Suresh Kumar, M. (2020). Treatment of dairy industry wastewater by combined aerated electrocoagulation and phytoremediation process. *Chemosphere*, 253, 126652. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126652>
- Akarsu, C. & Deniz, F. (2020). Electrocoagulation / electroflotation process for removal of organics and microplastics in laundry wastewater. *proteomics-journal*, 1–18. <https://doi.org/10.1002/cfen.202000146>.
- AlJaberi, F. Y., Ahmed, S. A., & Makki, H. F. (2020). Electrocoagulation treatment of high saline oily wastewater: Evaluation and optimization. *Heliyon*, 6(6): e03988.



<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03988>

- Al-Qodah, Z., Tawalbeh, M., Al-Shannag, M., Al-Anber, Z., & Bani-Melhem, K. (2020). Combined electrocoagulation processes as a novel approach for enhanced pollutants removal: A state-of-the-art review. *Science of the Total Environment*, 744, 140806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140806>
- Al-Raad, A. A., Hanafiah, M. M., Naje, A. S., & Ajeel, M. A. (2020). Optimized parameters of the electrocoagulation process using a novel reactor with rotating anode for saline water treatment. *Environmental Pollution*, 265, 115049. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115049>
- Bagga, A., Chellam, S., & Clifford, D. A. (2008). Evaluation of iron chemical coagulation and electrocoagulation pretreatment for surface water microfiltration. *Journal of Membrane Science*, 309(1–2), 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.10.009>
- Benaissa, F., Kermet-Said, H., & Moulai-Mostefa, N. (2016). Optimization and kinetic modeling of electrocoagulation treatment of dairy wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 57(13), 5988–5994. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.985722>
- Den, W., & Wang, C. J. (2008). Removal of silica from brackish water by electrocoagulation pretreatment to prevent fouling of reverse osmosis membranes. *Separation and Purification Technology*, 59(3), 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.07.025>
- Devlin, T. R., Kowalski, M. S., Pagaduan, E., Zhang, X., Wei, V., & Oleszkiewicz, J. A. (2019). Electrocoagulation of wastewater using aluminum, iron, and magnesium electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 862–868. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.10.017>
- El-Ashtoukhy, E. S. Z., Amin, N. K., Fouad, Y. O., & Hamad, H. A. (2020a). Intensification of a new electrocoagulation system characterized by minimum energy consumption and maximum removal efficiency of heavy metals from simulated wastewater. En *Chemical Engineering and Processing—Process Intensification* (Vol. 154). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108026>
- Federation, W. E., & APH Association. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.
- Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011>
- Hu, C. Y., Lo, S. L., & Kuan, W. H. (2007). Simulation the kinetics of fluoride removal by electrocoagulation (EC) process using aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 145(1–2), 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.010>
- Matis, K. A., & Peleka, E. N. (2010). Alternative flotation techniques for wastewater treatment: Focus on electroflotation. *Separation Science and Technology*, 45(16), 2465–2474. <https://doi.org/10.1080/01496395.2010.508065>
- Mohtashami, R., & Shang, J. Q. (2019). Treatment of automotive paint wastewater in continuous-flow electroflotation reactor. *Journal of Cleaner Production*, 218, 335–346. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.326>
- Montiel, V., Valero, D., Gallud, F., García-García, V., Expósito, E., & Iniesta, J. (2018). Prospective applications of renewable energy-based electrochemical systems in wastewater treatment. *Electrochemical Water and Wastewater Treatment*, 513–541. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813160-2.00019-5>
- 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>
- Nawarkar, C. J., & Salkar, V. D. (2019). Solar powered Electrocoagulation system for municipal wastewater treatment. *Fuel*, 237(August 2018), 222–226. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.09.140>
- Nidheesh, P. V., Scaria, J., Babu, D. S., & Kumar, M. S. (2021). An overview on combined electrocoagulation-degradation processes for the effective treatment of water and wastewater. En *Chemosphere* (Vol. 263). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127907>
- Qi, Z., You, S., Liu, R., & Chuah, C. J. (2020). Performance and mechanistic study on electrocoagulation process for municipal wastewater treatment based on horizontal bipolar electrodes. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s11783-020-1215-3>



- Tezcan Un, 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>
- Varank, G., & Sabuncu, M. E. (2015). Application of Central Composite Design approach for dairy wastewater treatment by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes: modeling and optimization. *Desalination and Water Treatment*, 56(1), 33–54. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.934731>

## XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto

El presente proyecto pretende optimizar un sistema de tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica proveniente de las plantas queseras, como proyecto a escala de laboratorio, posteriormente ampliar a nivel planta piloto. De este modo, mediante la optimización del proceso de electrocoagulación – flotación en flujo continuo, permitirá identificar los parámetros óptimos de remoción de materia orgánica.

## XII. Impactos esperados

### i. Impactos en Ciencia y Tecnología

En el presente proyecto se desarrollará en los laboratorios de la FIQ, por medio del proceso de electrocoagulación – flotación en sistema continuo. Esta nueva tecnología permitirá implementar y replicar este sistema en diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, los mismos que podrían ser aplicados a diferentes contaminantes, como los metales pesados.

### ii. Impactos económicos

El sistema de tratamiento por electrocoagulación – flotación en sistema continuo no requiere de reactivos, el floculante se obtiene de las láminas de aluminio para el proceso de electrocoagulación, por otro lado, la descomposición del agua genera burbujas de hidrógeno que son la fuente de electro flotación. Por lo que, este sistema es autosustentable en el tiempo, y no requiere de personal permanente, ya que los electrodos de aluminio tienen largos tiempos de vida.

### iii. Impactos sociales

Actualmente las aguas residuales de las plantas queseras presentan contenidos de materia orgánica, los que son descargados al sistema de alcantarillado, generando atoros de las tuberías, así mismo, estas grasas al llegar a la planta de tratamiento de aguas domésticas de la municipalidad, saturan los filtros e impidiendo el adecuado funcionamiento de las plantas de biooxidación debido que forman una capa superficial, de este modo generan paradas de planta y/o el incremento del tratamiento del agua residual. Con el desarrollo del proyecto se logrará una disminución de estas paradas, con lo que, se optimizará el proceso.

### iv. Impactos ambientales

Las aguas residuales contienen elevadas concentraciones de materia orgánica y sales que son vertidos al ambiente, donde los suelos se vuelven infértiles, impidiendo el desarrollo de las plantas, así mismo generan desertificación. Por lo que, el proyecto será relevante en solución a esta problemática.

## XIII. Recursos necesarios



- Infraestructura La experimentación se realizará en el en el Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Materiales:
- Vaso precipitados 500 ml
- Probeta graduada de 100 ml
- Tubos de ensayo.
- Termómetro digital.
- pH metro portátil.
- Conductímetro.
- Matracas Erlenmeyer de 250 ml
- Pipetas de 5 ml.

**Equipos:**

- Multiparametros modelo Orion Pro – Thermo Scientific.
- Celda de electrocoagulación – flotación en sistema continuo.
- Regulador de voltaje/amperaje.
- Turbidímetro - TURBIQUANT 3000 T
- Método de extracción Soxhlet

**Reactivos:**

Las muestras serán enviadas al laboratorio de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, para su análisis por DBO, turbidez.

**XIV. Localización del proyecto (indicar donde se llevará a cabo el proyecto)**

El presente trabajo de investigación se desarrollará en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno y los análisis se realizarán en los laboratorios de calidad de la Facultad de Ingeniería Química.

**XV. Cronograma de actividades**

Actividad	Trimestres												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Revisión de información y redacción del proyecto	■	■	■										
Diseño y construcción de la celda				■	■								
Pruebas preliminares						■	■						
Pruebas experimentales							■	■	■				
Análisis de los agentes contaminantes								■	■	■			
Optimización del proceso										■	■	■	
Redacción proyecto final											■	■	■

**XVI. Presupuesto**

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Agua residual	0	50	0	0
Investigadores	Pago único	1000	4	4000
Regulador de voltaje	Unidad	1200	02	2400
Uso de laboratorio	Pago único	1000	01	1000
Análisis de materia organica (DBO, DQO), turbidez, conductividad,	Unidad	100	65	6500



---

pH.				
Celda en continuo	Unidad	1000	1	1000
Material de escritorio	Unidad	500	1	500
Reactivos varios	Unidad	1000	1	1000
Traslado	Unidad	1000	1	1000
Otros 10 %	Unidad			1740
Total				19140

---