

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

"REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS
TOTALES DE LAS AGUAS RESIDUALES LÁCTEAS
MEDIANTE UNA CELDA DE
ELECTROCOAGULACIÓN EN EL DISTRITO DE
AYAVIRI, PUNO, AÑO 2022"

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero ambiental

Autor:

Cristian Rafael Quizana Barreda

Asesor:

Mg. Haniel Josue Torres Joaquín
<https://orcid.org/0000-0001-9659-4250>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Angélica Ysabel Miranda Jara	40670962
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Margeo Javier Chuman Lopez	45997406
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Denisse Milagros Alva Mendoza	45535817
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES DE LAS AGUAS RESIDUALES LÁCTEAS MEDIANTE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN EN EL DISTRITO DE AYAVIRI, PUNO, AÑO 2022

ORIGINALITY REPORT

14%	15%	3%	11%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repositorio.uncp.edu.pe Internet Source	10%
2	bibdigital.epn.edu.ec Internet Source	1%
3	repositorio.unh.edu.pe Internet Source	1%
4	Submitted to Universidad Privada del Norte Student Paper	1%
5	Submitted to ucol Student Paper	1%
6	repositorio.lamolina.edu.pe Internet Source	1%

Exclude quotes On Exclude matches < 1%
 Exclude bibliography On

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia, soy consciente que a lo largo de estos años no lo hubiera logrado solo, agradezco a mi madre por haberme guiado con sabiduría y un corazón bondadoso y a mi padre que es mi modelo a seguir por la fuerza y mentalidad que tuvo por apoyarme por ser parte de mi inspiración y constancia en esta grandiosa etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme guiado y darme todas las vivencias que me hicieron llegar a este punto, por darme a los padres más responsables del mundo, también a mis docentes y amigos por brindarme el apoyo, conocimiento, momentos que nunca olvidaré y un agradecimiento especial a mis docentes que me acompañaron en la presentación de este trabajo. Muchas gracias a todos.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	24
CAPÍTULO III: RESULTADOS	37
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS	50
ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles máximos y mínimos de las variables independientes.....	25
Tabla 2 Matriz de diseño factorial	26
Tabla 3 Valores iniciales de la caracterización del agua residual	37
Tabla 4 Resultados experimentales y porcentajes de remoción	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Técnica de electrocoagulación.....	18
Figura 2 Sistema de electrocoagulación	20
Figura 3 Ubicación del lugar de estudio	30
Figura 4 Medición del parámetro pH.....	31
Figura 5 Dimensiones de la celda para electrocoagulación.....	32
Figura 6 Detalle para toma de muestras y evaluación de lodos.....	33
Figura 7 Celda electrolítica.....	33
Figura 8 Inicio de tratamiento	34
Figura 9 Final de tratamiento	35
Figura 10 Gráfica de barras de los % de remoción de los contaminantes de las aguas residuales.....	39
Figura 11 Efectos principales para el porcentaje de remoción de SST.....	41
Figura 12 Efectos de interacción para el porcentaje de remoción de SST	41
Figura 13 Gráfico de cubos para el porcentaje de remoción de SST.....	42
Figura 14 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el % de remoción de SST	42
Figura 15 Comparación de los resultados obtenidos con los VMA para el vertido de AR	43

RESUMEN

Los efluentes que se generan en la elaboración de productos lácteos son vertidas al alcantarillado sin tratamiento previo, lo que provoca problemas con la población por la emisión de olores fétidos e impacto en el ambiente por el desborde de agua residual en la planta de tratamiento del distrito de Ayaviri, en tal sentido el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal brindar una opción de tratamiento viable y técnica para remover los sólidos suspendidos totales de las aguas residuales lácteas a través de una tecnología avanzada como es la electrocoagulación empleando un diseño factorial por triplicado. En dicho sentido, se elaboró un sistema de electrocoagulación a escala de laboratorio con un volumen de 1,5 L, se utilizaron electrodos de aluminio (ánodo) y hierro (cátodo) con una distancia de 1 cm y un área de contacto entre la muestra y los electrodos de 0,08253 m². Se determinó un tiempo de tratamiento óptimo de 35 minutos y una densidad de corriente de 84,81 A/m², logrando una remoción de los SST del 94,11%. Finalmente, se concluye que fue posible reducir el nivel de concentración de los sólidos suspendidos totales de las aguas residuales que se genera en la elaboración de productos lácteos del distrito de Ayaviri, pero no fue posible cumplir con el VMA del Anexo 1 del D.S. 010-2019 - Vivienda.

PALABRAS CLAVES: Agua residual, electrocoagulación e industria láctea.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Los problemas de calidad del agua en el mundo son causados principalmente por el gran crecimiento demográfico, económico y la falta de tratamiento de aguas residuales, se estima que el 90% de los desechos urbanos en los países en desarrollo se descargan directamente en las alcantarillas, ríos, lagos u océanos, lo que representa una amenaza para la salud y el medio ambiente (UNEP, 2010). En América Latina, los niños también son los más afectados por enfermedades infecciosas, ya que solo se trata el 14% de las aguas residuales (Moscoso, Egocheaga y Ramírez, 2005).

A nivel nacional, las entidades prestadoras de servicios de saneamiento cubren solo el 69,65% de las ciudades y la infraestructura existente no puede controlar la cantidad restante de agua con la producción diaria (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014). En el sector lácteo, el agua es el recurso natural más empleado para la producción de queso y subproductos, generando agua residual láctea aproximadamente de 0.2 litros a 10 litros por litro de leche procesada, esta cantidad de agua está vinculado a la garantía de condiciones higiénicas y sanitarias, esto incluye operaciones de esterilización, refrigeración, almacenamiento, lavado de tuberías, tanques, pasteurizadores, y lavado de pisos (Vourch, Balannec, Chaufer, & Dorange, 2008).

Obteniendo una mezcla de leche u otros productos lácteos diluidos con agua en concentraciones elevadas en los parámetros fisicoquímicos como demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), aceites y grasas, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos y nutrientes. (Hamdani, Chennai, Assobhei, & Mountadar, 2004).

La provincia de Melgar cuenta con áreas principalmente agrícolas, el distrito de Umachiri se considera la "cuenca de leche". Con una población de, 25921 habitantes, de los cuales el 84,55% vive en zonas rurales, el 15,45% vive en zonas urbanas. (INEI, 2020). Un porcentaje de esta población se dedica a actividades de manufactura de productos lácteos, la mayoría no cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales propio para cumplir con los estándares de descarga, el cual se debe a diferentes razones: disponibilidad de espacio, costos de capital, mano de obra técnica y costos operativos. (Humpire, 2017).

La manufactura en la elaboración de productos lácteos descargan sus efluentes a la red de alcantarillado, afectando a la planta de bombeo CAISON, ocasionando el desborde de las aguas servidas contaminando a la población con olores fétidos, que conlleva a la proliferación de enfermedades y deterioro del medio ambiente, en una notificación que se le realizó a la manufactura láctea, la municipalidad del distrito de Umachiri a través de la oficina ambiental y saneamiento básico, pone a conocimiento que, entre la municipalidad y representantes de las plantas queseras, acordaron no realizar el vertimiento de suero directamente al alcantarillado y buscar alternativas de tratamiento, también exhorta a los propietarios y/o administradores de las plantas queseras a abstenerse de realizar vertimiento de aguas residuales al sistema de alcantarillado, bajo apercibimiento de tomar medidas legales que correspondan.

1.2. Formulación del Problema.

1.2.1. Formulación del Problema General

PG. ¿El tratamiento mediante una celda de electrocoagulación remueve los sólidos suspendidos totales del agua residual generada en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación en el distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022?

1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos

P.E.1. ¿Cuánto será la concentración de los sólidos suspendidos totales antes y después del tratamiento del agua residual generado en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022?

P.E.2. ¿Cómo influye la densidad de corriente en la remoción de sólidos suspendidos totales del agua residual generado en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022?

P.E.3. ¿Cómo influye el tiempo de tratamiento en la remoción de sólidos suspendidos totales del agua residual generado en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general:

O.G. Remover los sólidos suspendidos totales del agua residual generada en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022

1.3.2. Objetivos específicos:

O.E.1. Calcular los sólidos suspendidos totales antes y después del tratamiento del agua residual generado en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022

O.E.2. Evaluar como influye la densidad de corriente en la remoción de sólidos suspendidos totales del agua residual generado en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022

O.E.3. Evaluar como influye el tiempo de tratamiento en la remoción de sólidos suspendidos totales del agua residual generado en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

H.G. El tratamiento mediante una celda de electrocoagulación influye en la remoción de los sólidos suspendidos totales del agua residual generada en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022

1.4.2. Hipótesis Específicos

H.E.1. Los sólidos suspendidos totales antes del tratamiento si excederán los valores máximos admisibles, sin embargo, los sólidos suspendidos totales después del tratamiento no excederán los valores máximos admisibles del agua residual generados en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022

H.E.2. La densidad de corriente establecidos en el tratamiento influirá en la reducción de sólidos suspendidos totales del agua residual generado en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022

H.E.3. El tiempo de tratamiento establecidos en el tratamiento influirá en la reducción de sólidos suspendidos totales del agua residual generado en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri, Puno, Año 2022

1.5. Marco Teórico

1.5.1 Antecedentes

López & Harnisth (2016). En la investigación: *"Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea Ramirez – Anta – Compone"*, tuvo como objetivo determinar los factores que involucran una mejor reducción de los SST con una caracterización inicial de 8472.8 mg/L, la metodología se basó en un estudio cuantitativo y diseño experimental: la muestra estuvo conformada por 2.5 litros; mediante la tecnología de electrocoagulación se pudo reducir significativa los SST en un 55.31%, utilizando electrodos de aluminio siendo los factores óptimos 30 minutos y a una densidad de corriente de 56.7 A/ m².

Humpire, (2017). En la tesis de grado de Ingeniero: *"Efecto del pH y tiempo en la depuración de lacto suero residual por electrocoagulación"*, el presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, que sostuvo como objetivo evaluar el tiempo de tratamiento, voltaje y amperaje óptimo, donde la caracterización inicial de los SST fue de 3600 mg/L, para el tratamiento se utilizó un reactor de 2 litros de capacidad, como resultado se obtuvo 3 Amperios, 10 Voltios y un tiempo de tratamiento de 34 minutos usando electrodos de hierro y aluminio, llegando a una reducción de 324 mg/l siendo en porcentaje de reducción en un 91% de SST

Bazrafshan, Moein, Mostafapour, & Nakhaie, (2013). En el artículo científico: *"Aplicación del proceso de electrocoagulación para Tratamiento de aguas residuales de productos lácteos"*, El propósito de esta investigación fue determinar los parámetros operativos como el número de electrodos, densidad de corriente y el tiempo de reacción en el proceso de electrocoagulación como resultado se detalla una concentración inicial de SST de 1724 mg/L,

como resultado se determinó 6 electrodos de 20 cm x 14 cm con un área sumergida de 0.168 m³ una densidad de corriente de 29.7 A/ m³ y 60 minutos para una reducción de SST en un 97 % así demostraron la factibilidad técnica del proceso de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio y hierro como una técnica confiable para la remoción de contaminantes de las aguas residuales lácteas.

Pinto y Gutiérrez (2020), En la tesis de grado de Ingeniero: *"Tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea mediante el proceso de electrocoagulación"* tuvo como objetivo el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea "Ecolac Polobaya" por electrocoagulación usando aluminio y hierro como electrodo. La caracterización inicial de SST fue de 557 mg/L, para ello se determinó las condiciones óptimas como la densidad de corriente y tiempo de electrólisis, siendo 25 minutos y 116.7 A/cm². Donde se obtuvo una eficiencia promedio del 95%.

Arango y Giraldo (2007), En la investigación: *"diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea"* Los autores de este trabajo presentan una alternativa para el diseño de una celda de electrocoagulación. La investigación permitió establecer la geometría tanto de la celda como de los electrodos, materiales y tipo de conexión, adicionalmente determinar los parámetros eléctricos de la fuente de voltaje. Algunos aspectos de diseño que tuvieron en cuenta estuvieron relacionados con la celda, tipo de electrodos, la geometría y la disposición de los electrodos que fueron fundamentales para que la aplicación de la electrocoagulación tenga resultados óptimos. Con fundamentos en la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de una industria láctea, se diseñó un sistema de electrocoagulación para estudiar el comportamiento de los diferentes

parámetros involucrados en la remoción de contaminantes. "La investigación permitió establecer la geometría tanto de la celda como de los electrodos, materiales y tipo de conexión, adicionalmente determinar los parámetros eléctricos de la fuente de voltaje".

1.5.2 Bases teóricas

Aguas residuales de la industria láctea:

En la industria láctea se producen diversos derivados (queso, yogur, mantequilla, etc.), por lo que en ellos se lleva a cabo una serie de procesos, que generan residuos gaseosos, sólidos y líquidos. Sin embargo, los desechos líquidos causan la mayor contaminación porque contienen una alta concentración de sólidos suspendidos totales (Restrepo et al., 2006).

El suero, el residuo líquido de la industria láctea, tiene un pH de 7 lo que indica un pH neutral y a medida que el tiempo transcurre la fermentación de los azúcares de la leche forman ácido láctico, por lo que el pH desciende a 4,5 – 5,0 este hecho solo ocurre en caso de falta de oxígeno. Parte del proceso en la industria láctea es la limpieza de máquinas que producen otro tipo de contaminantes (Chavez et al., 2020).

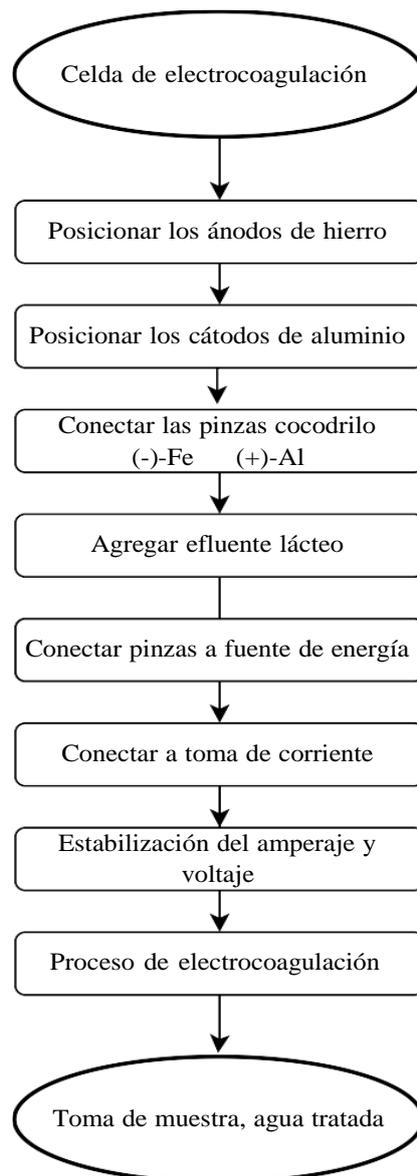
Electrocoagulación:

Esta técnica electroquímica se conoce en Estados Unidos desde 1906, se ha desarrollado con el tiempo y se utiliza en muchas aplicaciones, como su nombre indica, la electrocoagulación es un proceso de coagulación que no utiliza un coagulante externo y es ventajoso por ello. Al aplicar corriente el coagulante generado en el ánodo

encapsula las partículas contaminantes que forma grandes agregados que son más fáciles de remover, el hierro y aluminio son los electrodos más recomendados de los muchos materiales probados para este sistema (Morales, 2018).

Figura 1

Técnica de electrocoagulación



Nota. Como se aprecia en el diagrama, la técnica no utiliza una numerosa cantidad de equipos y materiales, donde el funcionamiento de la misma es en cuestión fácil y simple, (Restrepo et al., 2006).

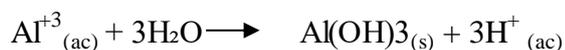
Ventajas de la electrocoagulación:

Las principales ventajas de la electrocoagulación son: el volumen de lodos y disposición final son más compactos ya que el floculo producido se unen al agua en menor volumen, quiere decir, se forma un lodo más denso que implica su disposición final, bajos costos de operación por el uso de equipos sencillos y fáciles de usar. (Palomino et al, 2021).

Reacciones involucradas en la electrocoagulación:

Las reacciones químicas que ocurren en una celda de electrocoagulación se describen en detalle a continuación, este proceso utiliza distintos materiales, para el presente estudio se empleó el hierro y aluminio como electrodos que son comúnmente los más utilizados, en otras palabras, los estudios han demostrado que son los más eficientes y económicos especialmente cuando se utiliza aluminio como ánodo. (Paredes et al. 2022).

En el ánodo:

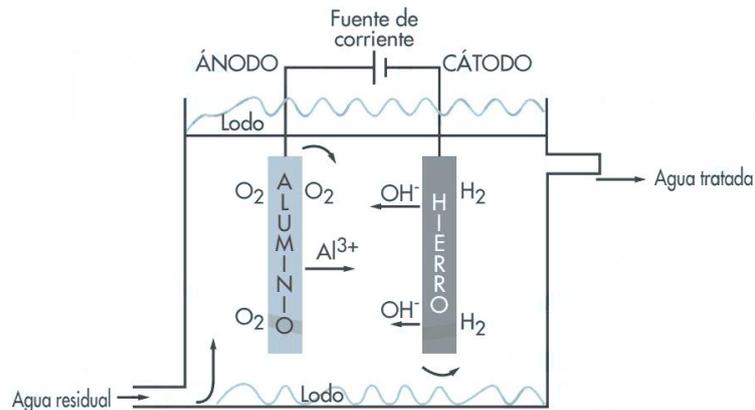


En el cátodo:



Figura 2

Sistema de electrocoagulación



Nota: Diseño de una celda de electrocoagulación – REVISTA Universidad EAFIT (2007)

El sistema electroquímico

- **La fuente de poder:**

La fuente de alimentación regulable, que consta de un rectificador con la función de cambiar la corriente alterna a corriente continua, también consta de amperímetro y voltímetro que se regula según la matriz de experimentación de 0 - 30 V y 0 - 7 A lo que le permite profundizar en el proceso.

- **La celda:**

Las características de las celdas variarán dependiendo de la composición del desecho líquido a tratar. También dependerá del tamaño, forma y colocación de los electrodos. La geometría de celda más común y simple es un rectángulo, pero pueden tener diferentes formas dependiendo de los objetivos del proceso. Estas celdas deben contener secciones de la zona de reacción donde tendrá lugar el

proceso de coagulación, una zona de sedimentación y una zona de flotación. Además, estas secciones deberán disponer de una zona de evacuación para facilitar el análisis de sólidos suspendidos totales.

- **Los electrodos:**

Los materiales más comunes utilizados en el proceso electroquímico son el hierro y el aluminio como ánodo y cátodo debido a su buen desempeño, el ánodo es la placa que se sacrifica al disolverse al excitarse, esto implica un bajo costo y fácil disponibilidad.

Parámetros de Evaluación pre y post tratamiento

- **Sólidos suspendidos totales:**

Suma de los sólidos suspendidos totales, sales disueltas y materia orgánica, se consideran residuales retenidos en filtros de fibra de vidrio con un tamaño de poro nominal de 0,45 μm y se refieren a partículas suspendidas en la superficie y/o en el flujo de agua residual (Indigoye, 2019).

- **Potencial de hidrógeno:**

El pH es un indicador de la concentración de iones de hidrógeno en una sustancia, es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución (el acrónimo significa potencial de hidrógeno). La solución acuosa medida tiene un valor de pH entre 0 y 14. Un valor de pH inferior a 7 es una solución ácida, y un valor de pH superior a 7 es esencialmente una solución básica y un pH igual a 7 significa que la sustancia es neutra. Por definición, el pH es el logaritmo inverso de la concentración de iones de hidrógeno. (Velásquez, 2017).

1.5.3 Definición de términos básicos

Multiparametro:

Un medidor portátil mide parámetros importantes de la calidad del agua sin múltiples instrumentos (Wilson, 2007).

Corriente eléctrica:

Para medir la corriente eléctrica se emplea la ley de ohm.

$$I = \lim_{t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta q}{\Delta t} \right) = \frac{dq}{dt} \leftrightarrow I = \frac{q}{t}$$

Unidad: Ampere: 1 A = 1 C/s

I: Intensidad de corriente: ampere (A)

q: Carga eléctrica: Coulomb (C)

t: Tiempo: Segundos (s)

Densidad de Corriente:

Se define como:

$$I = \frac{I}{A}$$

Unidades : A/m²

Dónde:

J: Densidad superficial de corriente

I: Intensidad de corriente (A)

A: Superficie transversal (m²)

Potencia eléctrica:

El potencial eléctrico se define como la cantidad de energía entregada al proceso en una variación tiempo.

$$P = \frac{U}{t} = \frac{qV}{t} = \frac{VIt}{t} \rightarrow P = IV$$

Unidad: Watt (**W**)

Donde:

V = Tensión o voltaje =
Voltio (**V**)

I = Intensidad de corriente:
Amperio (**A**)

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que trata de encontrar conocimientos (densidad de corriente y tiempo de residencia óptimos) para remover la carga orgánica en las aguas residuales lácteas por electrocoagulación. obteniendo resultados cuantitativos. Como menciona Koboya et al (2008) el objetivo de la investigación aplicada es crear una nueva tecnología basada en el conocimiento adquirido durante la investigación estratégica para ver si se puede usar para un propósito específico con o sin modificaciones.

2.2. Diseño de investigación

La presente investigación tiene un diseño experimental donde existen dos variables: independiente (densidad de corriente y tiempo de tratamiento óptimos) que fueron manipulados por el investigador según la matriz de experimentación para obtener los resultados que pueda ocasionar en la variable dependiente (Calidad de agua residual tratada generada en la elaboración de productos lácteos del distrito de Ayaviri). Señalar también que las variables interdependientes son: presión atmosférica: 582 mmHg, distancia entre electrodos: 1 cm, espesor de los electrodos: 1 mm, dimensiones de los electrodos: aluminio (ánodo) - altura= 9 cm - ancho= 7 cm, hierro (cátodo) - altura=9 cm - ancho= 8 cm, área total de contacto entre las muestras y los electrodos: 0,08253 m² volumen de la celda de electrocoagulación: 2664.9 cm³ volumen de muestra inicial: 1.5 Litros.

Este diseño permitirá observaciones repetidas bajo las mismas condiciones para analizar los resultados, por tal razón es que la investigación tiene una relación causa-efecto y el tiempo que se utiliza es longitudinal, para ver diferencias y repetir los experimentos. (javanovic et al, 1989).

2.2.1. Diseño factorial

Según Lopez et al (2016), un diseño factorial analiza las posibles combinaciones totales de los factores, los valores que tomen las variables determina el nivel. Se usó la siguiente relación para determinar el número total de experimentos:

Tabla 1

Niveles máximos y mínimos de las variables independientes

Factores	Dominio experimental	
	Nivel(-)	Nivel(+)
X1 Densidad de corriente (A/m ²)	60.58	84.81
X2 Tiempo de residencia (min)	25	35

2.2.2. Tratamiento de datos

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se decidió emplear un diseño factorial completo, de dos niveles y con dos variables independientes, donde:

$$\text{Número de pruebas} = 2^2 = 4$$

Niveles de las variables: Máximo (+) y mínimo (-)

Variables independientes: Densidad de corriente(X1) y Tiempo de tratamiento (X2)

Cabe mencionar que se realizaron 3 repeticiones para tener los datos necesarios para desarrollar la parte estadística.

Tabla 2

Matriz de diseño factorial

PRUEBA MUESTRA		FACTORES	
Nº	Nº	X1 - Densidad de corriente (A/m ²)	X2 - Tiempo de residencia (min)
1	1ro	60.58	25
2		60.58	35
3		84.81	25
4		84.81	35
5	2do	60.58	25
6		60.58	35
7		84.81	25
8		84.81	35
9	3ro	60.58	25
10		60.58	35
11		84.81	25
12		84.81	35

2.3. Población, muestra y muestreo

2.3.1. Población

Para la presente investigación, la población en estudio está formada por toda el agua residual que genera una manufactura láctea del distrito de Ayaviri de la provincia de Melgar.

2.3.2. Muestra

Se recolectó 15 litros de agua residual de una manufactura láctea del distrito de Ayaviri de la provincia de Melgar.

2.3.2.1. Tipo de muestreo

Muestra puntual: Muestra recolectada en un lugar y tiempo específico y que refleja las circunstancias particulares del cuerpo de agua para el momento y sitio de su recolección

2.4. Materiales, instrumentos y métodos

2.4.1. Materiales y equipos

Los materiales utilizados son:

a) Materiales utilizados en toma de muestra

- 03 cooler de 50 L
- 01 jarra de 2 L
- 13 envases de vidrio ámbar esterilizados de 1 L
- 13 envases de plástico esterilizado de 250 ml
- 15 Ice pack
- 03 pares de guantes quirúrgicos
- 03 mascarillas descartables

b) Materiales utilizados en la fabricación del reactor bach:

- Material acrílico según medidas para la estructura

- Plancha de aluminio según medidas (03)
 - Plancha de metal según medidas (03)
 - Vías sanitarias para líquidos (02)
 - Silicona de cartuchos secado rápido (01)
 - Pegamento adhesivo rápido (01)
 - Aplicador de silicona
 - Cable N° 16 unipolar rojo (2 metros)
 - Cable N° 16 unipolar azul (2 metros)
 - Pinzas de conexión rojo (04)
 - Pinzas de conexión negro (04)
 - Estaño soldadura (1.5 metros)
 - Pistola de soldar
 - Brocas para perforación 1/8 y 1/4
 - Taladro eléctrico
 - Discos de corte dentado
 - Amoladora 4 ½
- c) Equipos:**
- 01 Fuente de Poder de (0 – 5A/ 0 - 30 V). Marca Yaogong.
 - 01 Multiparametro EM-OPE-03 (Anexo 8)

2.4.2. Instrumentos

Según Hernández et al (1998), todos los estudios emplean un instrumento para medir las variables hipotéticas una medición es válida si el instrumento

de recopilación de datos contiene verdaderamente las variables que el investigador está considerando; de lo contrario, la medición es defectuosa y el estudio pierde interés.

Para la presente investigación se utilizó los siguientes instrumentos:

- Ficha de registro de datos - cadena de custodia (Anexo 1).
- Etiqueta adhesiva para etiquetar los frascos de la toma de muestras (Anexo 2).

Cabe mencionar que para documentar la información obtenida durante la experimentación, este estudio adoptó la estructura de la cadena de custodia y etiqueta para muestras, instrumentos de recopilación de datos, que radica en: " Observar atentamente el fenómeno, hechos o casos, obtener información y registrarla para su posterior análisis" plasmado en la Resolución Ministerial N.º 273-2013-Vivienda y la NTP 214.042 clasificación de la matriz de agua.

2.4.3. Métodos

Método de muestreo de agua residual

Para realizar el muestreo se aplicó como referencia la Norma Técnica Peruana NTP 214.060.2016 “AGUAS RESIDUALES Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado”

Método de ensayo

Los métodos utilizados para calcular los sólidos suspendidos totales (SST), potencial de hidrógeno (Ph) y Temperatura (T) fueron:

- El método para determinar los SST se desarrolló bajo la norma de la referencia SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017.
- Para calcular el Ph se utilizó el método electrométrico “SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-HB. pH Valué. Electrometric Method. 23rd Edition, 2017”.

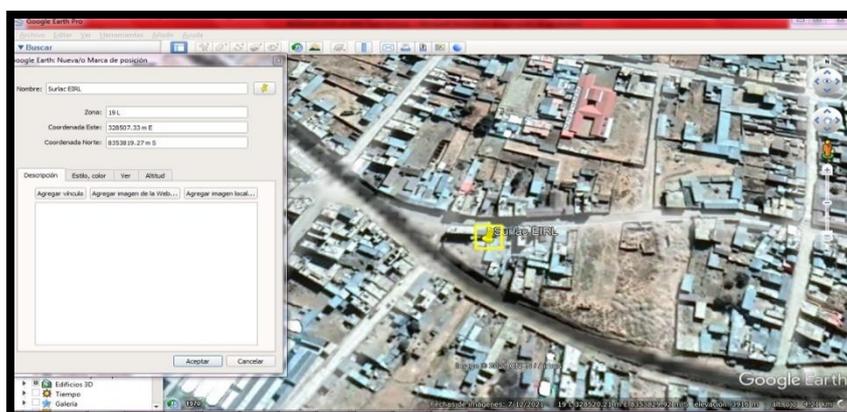
2.5. Procedimiento de recolección de datos

2.5.1. Procedimiento para la toma de muestra

- Las muestras de agua residual provienen de la elaboración de productos lácteos del distrito de Ayaviri, Puno. Ubicada a una altitud de 3907 m a 500 metros de la plaza de armas en línea recta, ubicado en las coordenadas: 328507 m E, 8353819 m S UTM.

Figura 3

Ubicación del lugar de estudio



Nota. Esta imagen fue capturada de Google Earth.

- En 3 días diferentes se realizó la toma de muestras para obtener datos representativos y tener los datos necesarios a fin de desarrollar la parte estadística. En total, la cantidad de muestra fue de 15 litros, siendo 3 litros envasados para la

caracterización inicial y el resto de agua colectada usada en la celda electroquímica.

- Los parámetros analizados en el laboratorio fueron SST y pH donde se tuvo que considerar las siguientes condiciones:

SST: Cantidad mínima (1000 mililitros), Tipo de recipiente (plástico) y almacenamiento máximo recomendado (28 días).

pH: Verificar con la solución patrón el funcionamiento correcto del multiparametro y enjuagar la sonda 3 veces con el agua a analizar.

Figura 4

Medición del parámetro pH

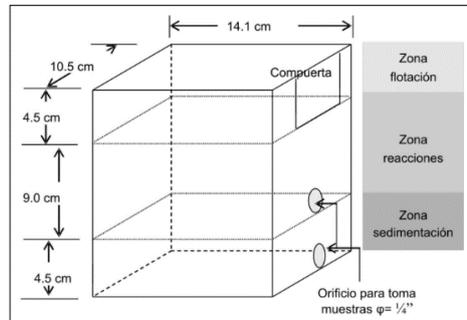


2.5.2 Procedimiento de fabricación

- Para realizar este trabajo se escogió a escala de laboratorio una celda de electrólisis (reactor discontinuo) de 1.8 L de capacidad que ofrece tres regiones.
- Cortar el acrílico según medidas 10,5 cm x 18 cm ; 10,5 cm x 18 cm ; 14,1 x 18cm ; 14,1 cm x 18cm ; 10,5 cm x 14,1 cm.

Figura 5

Dimensiones de la celda para electrocoagulación



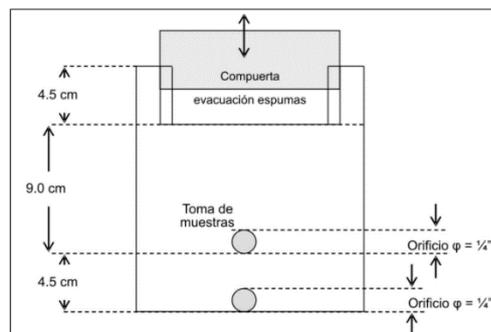
Nota: Diseño de una celda de electrocoagulación – REVISTA Universidad EAFIT (2007)

- Pulir los bordes de los cortes usando una escuadra de 90 grados.
- Unir todos los cortes realizados y así la estructura se formó con el aditivo empleado (silicona y triz) y dar detalle de un corte escalonado al lado de 10.5 cm x 18 cm.
- Dejar secar la estructura durante un tiempo de 12 a 24 horas, obteniendo un volumen de la celda de electrocoagulación de, 2664,9 cm³.
- Cortar las planchas de aluminio y hierro con las medidas de 9 cm x 7 cm y 9 cm x 8 cm respectivamente para un área total de contacto entre la muestra y los electrodos de 0,08253 m².
- Colocar los electrodos de tal manera que la distancia entre electrodos sea de 1 cm y un espesor de 1 mm. los electrodos utilizados son placas rectangulares dispuestas en serie.

- Soldar con estaño los terminales de las pinzas (cocodrilos) con el cable número 16 en serie.
- Perforar dos veces la estructura siendo agujeros de un 1/4 de pulgada, para el desfogue de la muestra tratada y los lodos formados.

Figura 6

Detalle para toma de muestras y evaluación de lodos.

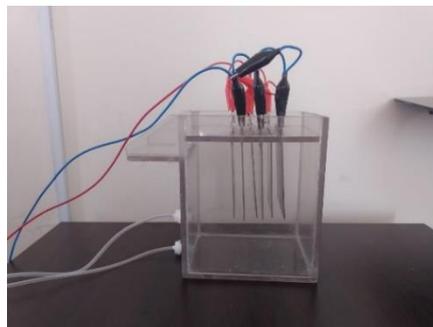


Nota: Diseño de una celda de electrocoagulación – REVISTA Universidad EAFIT (2007)

- Verificar el secado de las estructuras de las planchas de aluminio y de metal para las pruebas indicadas.

Figura 7

Celda electrolítica



2.5.3. Procedimiento para el proceso de electrocoagulación

- Para desarrollar este trabajo se eligió una celda electrolítica (reactor batch) a escala de laboratorio cuya capacidad de tratamiento es de 1,8 L.
- Para este proceso de electrocoagulación se consideró como constantes; presión atmosférica de 582 mm Hg y temperatura de 22 C°.
- Se encendió el rectificador de corriente y ajusto a las condiciones establecidas en el diseño experimental.

Figura 8

Inicio de tratamiento



- Una vez finalizado el tratamiento se apagó el dispositivo después del tiempo especificado en el diseño experimental.
- Se retiraron los electrodos y luego se retiró también la espuma (impurezas menos densas) extendida por toda la superficie con la ayuda de un cubierto de cocina metálica.

Figura 9

Final de tratamiento



- Después de desnatar, se dejó el agua tratada durante 10 minutos, lo que permitió que la materia suspendida se asiente.
- Se tomó una muestra de agua purificada y esta muestra se vertió en un recipiente acondicionado para el proceso de análisis de la prueba.
- Para cada combinación del diseño experimental se replicó este procedimiento

2.6. Tratamiento de datos

Los resultados se obtuvieron según el diseño factorial planteado, para el presente estudio se utilizó la estadística ANOVA para obtener la validez de los objetivos planteados.

Los datos cuantitativos:

- Densidad de corriente (Variable independiente)
- Tiempo de tratamiento (Variable independiente)
- Concentración de los SST inicial y final según el diseño factorial y
- Porcentaje de remoción (Variable dependiente)

Para un mejor análisis de relación de las variables dependiente e independientes se empleo el modelo de regresión lineal con los siguientes graficos elaborados en el programa estadístico Minitab -19:

- Gráfica de cubos (medias ajustadas) de % de remoción
- Diagrama de Pareto de efectos estandarizados
- Gráfica de interacción para % de remoción (medias ajustadas) y
- Gráfica de efectos principales para % de remoción (medias ajustadas)

2.7. Aspectos éticos de la investigación.

Se está citando a todas las fuentes que han sido consultadas y consideradas en esta investigación, dicha información será usada solo con fines académicos, basándonos en el método científico y sin dejar de lado valores que un investigador debe poseer, además todos los resultados y hechos que se presentan se muestran sin alterar los datos reales.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Caracterización inicial del agua residual en la elaboración de productos lácteos.

En la tabla 3 se puede apreciar los resultados de las tres muestras iniciales recolectadas en distintas fechas del efluente generado por una manufactura láctea. Partiendo de la concentración inicial de agua residual, se realiza la electrocoagulación. Asimismo, se indican los valores máximos admisibles que pueden recibir la red de alcantarillado

Tabla 3

Valores iniciales de la caracterización del agua residual

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA INICIAL 1 12/12/22	MUESTRA INICIAL2 19/12/22	MUESTRA INICIAL 3 26/12/22	VMA
SST	mg/L	9275	9698	9137	500
pH		4.63	4.64	4.63	6 - 9

3.2. Caracterización de las muestras de agua tratada

Este estudio se realizó por triplicado para cada tratamiento plasmado en la tablas 04. Se encontró que aumentando el tiempo y densidad de corriente disminuye la concentración del parámetro SST.

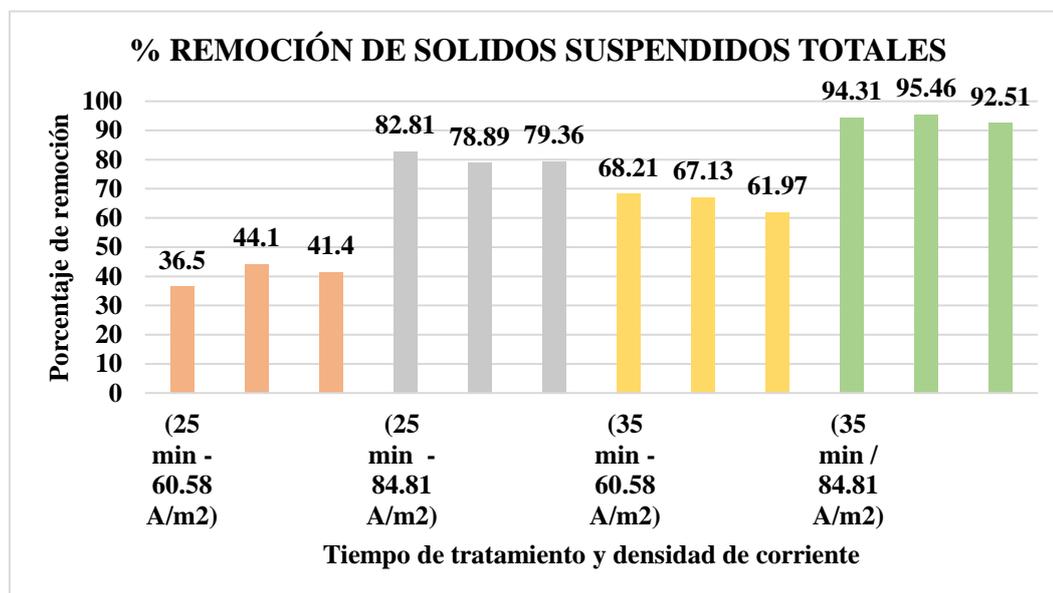
Tabla 4

Resultados experimentales y porcentajes de remoción

PRUEBA Nº	MUESTRA Nº	FACTORES		ELECTROCOAGULACION	
		X1 - Densidad de corriente (A/m ²)	X2 - Tiempo de residencia (min)	mg/L	% De remocion
1	Muestra 1- 12/12/22-	60.58	25	5889.6	36.5
2		60.58	35	2948.6	68.2
3		84.81	25	1594.7	82.8
4		84.81	35	526.5	94.3
5	Muestra 2- 19/12/22	60.58	25	5421.1	44.1
6		60.58	35	3187.6	67.1
7		84.81	25	2047	78.8
8		84.81	35	440.1	95.4
9	Muestra 3- 26/12/22	60.58	25	5354.2	41.4
10		60.58	35	3474.8	61.9
11		84.81	25	1885.7	79.3
12		84.81	35	684.5	92.5

Figura 10

Gráfico de barras de los porcentajes de remoción de los SST de las aguas residuales



Nota. La figura muestra el porcentaje promedio de remoción de los SST para muestras tratadas en cuatro combinaciones diferentes, donde se puede ver que la mayor remoción ocurrió dentro de los 35 minutos y una densidad de corriente de 84.81 A./m2.

3.3. Análisis estadístico

Después de haber obtenido los resultados posteriores al tratamiento, se realizó la evaluación y análisis de los mismos con ayuda del Programa MINITAB 19 para verificar el comportamiento del tratamiento frente a la calidad del agua residual.

Prueba ANOVA

Se utilizó análisis de varianza comparando la hipótesis nula (H0) con la hipótesis alternativa (H1) que viene a ser, que el tratamiento mediante una celda de electrocoagulación influye en la remoción de los sólidos suspendidos totales del agua residual generada en la elaboración de productos lácteos mediante una celda de electrocoagulación del distrito de Ayaviri. Para aceptar la hipótesis alternativa, al menos uno de los tratamientos experimentados tuvo que ser diferente. La tabla número 05 muestra valores de P(Sig.) inferiores a alfa 0,05. Esto da derecho a descartar H0 y confirmar H1 que al menos un tratamiento influye significativamente en la remoción de los SST.

Tabla 5

Análisis de Varianza

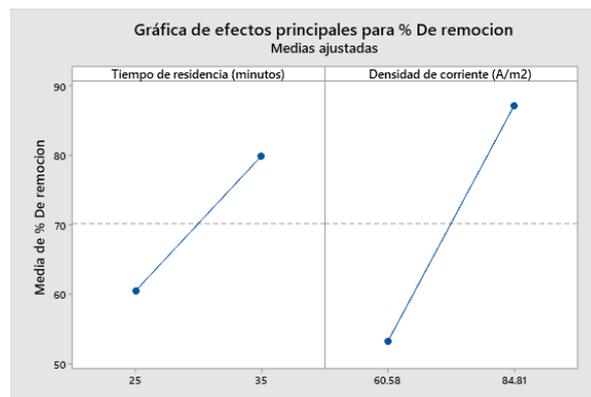
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Densidad de corriente	1	3469.02	3469.02	423.60	0.000
Tiempo de tratamiento	1	1131.60	1131.60	138.18	0.000
Densidad de corriente*Tiempo de tratamiento	1	96.84	96.84	11.83	0.009
Error	8	65.51	8.19		
Total	11	4762.98			

Fuente: Propia –MINITAB 19.

3.4 Modelo de regresión lineal:

Figura 11

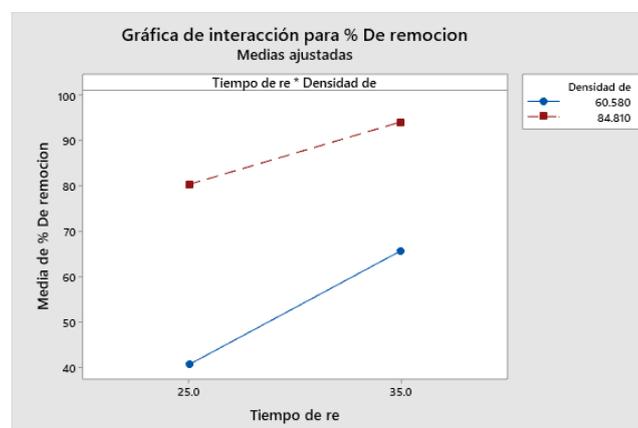
Efectos principales para el porcentaje de remoción de SST



De la Figura 11 se puede concluir que existe una relación directa entre las variables (tiempo de residencia y densidad de corriente). Para lograr un alto porcentaje de eliminación de SST, debemos elegir la combinación que muestre el valor más alto. Esto significa elegir una combinación de tiempo de procesamiento de 35 minutos y una densidad de corriente de 84,81 A/m².

Figura 12

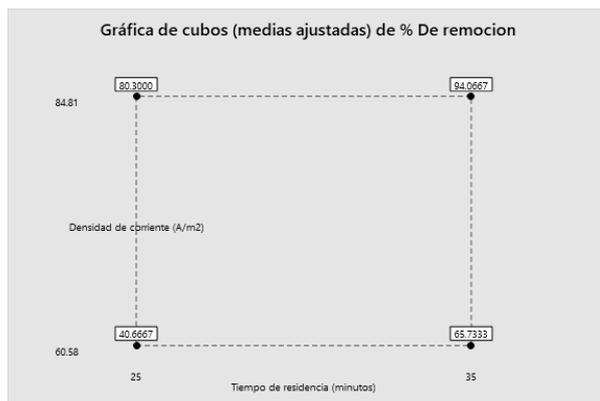
Efectos de interacción para el porcentaje de remoción de SST



Podemos inferir, que en la figura 12, que cuanto más alto sea la densidad de corriente y el tiempo de residencia, el % de remoción de SST aumentará.

Figura 13

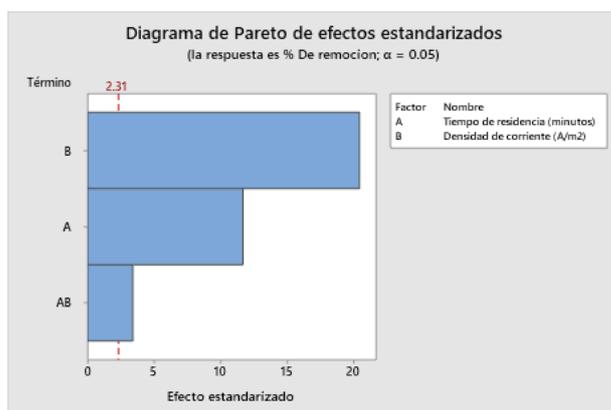
Gráfico de cubos para el porcentaje de remoción de SST



En cada vértice de la figura 13, se muestra el promedio de remoción de SST de las 3 repeticiones, en las distintas combinaciones. De este gráfico deducimos que hay mayor remoción cuando más elevados sean las variables (+,+). Es decir 84,81 A/m2 y 35 minutos.

Figura 14

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el porcentaje de remoción de SST

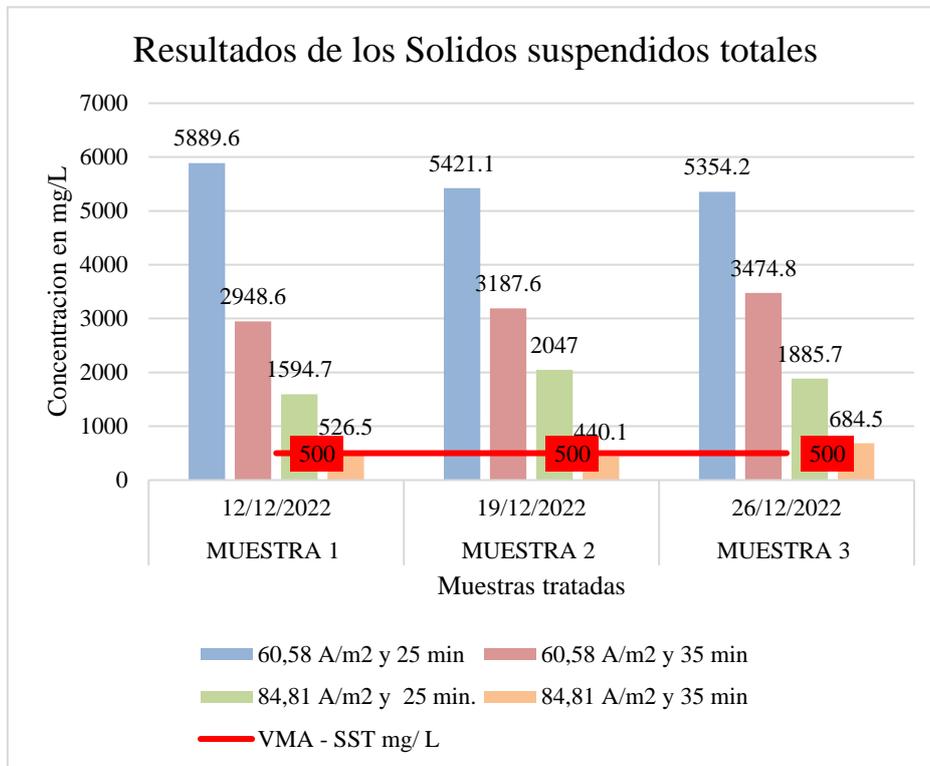


En la figura 14, se observa que las dos variables del proceso y la interacción de ellos son relevantes en la remoción de SST.

3.5. Comparación de los resultados obtenidos con los Valores máximos admisibles según normas.

Figura 15

Comparación de los resultados obtenidos con los valores máximos admisibles para el vertido de aguas residuales.



La figura 15, compara los datos obtenidos al tratar el agua residual según el diseño factorial, con los valores máximos establecidos en el D.S - 010- 2019- VIVIENDA.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión.

4.1.1. Concentración de los sólidos suspendidos totales inicial y final del agua residual

La remoción de sólidos suspendidos totales fue del 94.06 % (concentración inicial de 9370 mg/L a una concentración final de 550.3 mg/L). Este resultado se debe principalmente a la técnica de electrocoagulación utilizada, cuya característica se sustenta en la liberación de iones de aluminio que actúan sobre los coloides formando flóculos que posteriormente son decantados en forma de hidróxidos metálicos, lo cual se va incrementando a medida que exista mayor generación de iones de aluminio producto de la electrocoagulación (Bazrafshan, Moein, Mostafapour, & Nakhaie, 2013).

Uno de los factores que influyen en este proceso es la capacidad de la celda de electrocoagulación, donde en este estudio tuvo una capacidad de 1.5 L. Es un factor importante, ya que es directamente proporcional a la movilidad de los coloides, existe mayor atracción entre partículas y por ende una mayor generación de flóculos, desde luego porque la fuente de corriente regulable utilizada es idónea para esa cantidad de agua tratada. Cabe precisar que en estudios relacionados con el tema utilizaron una capacidad de 1.5 L a 3 L en los experimentos a escala laboratorio, tal es el caso de López & Harnisth (2016) que llevó a cabo sus experimentos de electrocoagulación con una celda electrolítica de volumen de 2.5 L, logrando una remoción de 55.31% de SST

capacidad similar a la investigación de Humpire (2017) que tuvo una capacidad en su investigación de 2 L y un porcentaje de remoción de 91%.

Siguiendo con los factores involucrados, los electrodos seleccionados fueron planchas de aluminio y hierro con las medidas de 9 cm x 7 cm y 9 cm x 8 cm respectivamente para un área total de contacto entre la muestra y los electrodos de 0,08253 m². El aluminio al poseer una capacidad de conductibilidad eléctrica que al suministrar la corriente eléctrica libera iones para un eventual proceso de coagulación y floculación, además su adquisición es de bajo costo, igualmente Ríos (2022) corrobora que la capacidad de conductibilidad eléctrica del electrodo es fundamental para que exista una buena liberación de iones, entre las mejores opciones se encuentra el aluminio.

Por último se tuvo en consideración una distancia de 1 cm entre electrodos, ya que, durante las pruebas experimentales que se realizaron se observó que para separaciones entre electrodos inferiores a 1 cm los tratamientos se hacen prolongados debido a que ocurre atascamiento por deposición de lodo sobre la superficie de los electrodos, impidiendo la circulación del medio acuoso para el ascenso de la espuma y la precipitación de los flóculos dando como resultado bajas remociones de SST a lo que Humpire (2017) en su investigación determinó que la separación entre electrodos debe ser 1 cm, lo cual, permite un proceso de electrocoagulación con buena remoción SST, ya que a esta distancia no se apreció que ocurra atascamientos por deposición de lodos en los electrodos, de la misma manera Ramírez (2019) añade que según los experimentos realizados en su investigación concluye que a 1 cm de separación se obtiene mayores porcentajes de remoción.

4.1.2. Influencia de la densidad de corriente en la remoción de sólidos suspendidos totales del agua residual

De la tabla 4, se observó que cuando la densidad de corriente es 60.58 A/m^2 (como en el caso de los experimentos N.º: 1,2,5,6,9 y 10) se evidencia una baja remoción de los sólidos suspendidos totales, alcanzando un 53.2 %. Este suceso ocurre cuando se le suministra una baja intensidad de corriente que provoca la disminución de una buena electrodisolución del ánodo que afecta directamente a la generación de iones de aluminio, otro punto importante a tener a cuenta es la poca producción de moléculas de H^+ en el cátodo, limitando el ascenso por flotación de los sólidos suspendidos totales (López & Harnisth, 2016).

Mientras que para una densidad de corriente de 84.81 A/m^2 (como en los experimentos N.º: 3,4,7,8,11 y 12) se pudo observar una remoción de 87.18 %. Esta disminución es un reflejo de la presencia de iones de aluminio liberados en mayor cantidad por la densidad de corriente suministrado (Vourch, Balannec, Chaufer, & Dorange, 2008).

4.1.3. Influencia del tiempo de tratamiento en la remoción de sólidos suspendidos totales del agua residual

El tiempo de electrocoagulación fue indispensable para que la densidad de corriente eléctrica aplicada sea efectiva, logre desestabilizar las partículas y obtener altos porcentajes de remoción en la tabla 4, se muestran los experimentos N.º: 2,4,6,8,10 y 12 a los cuales se les aplicó un tiempo de tratamiento 35 minutos, logrando obtener una remoción de 79.9 % promedio de sólidos suspendidos totales, este hecho se debe a que

a mayores tiempos de operación hay mayor cantidad de iones de aluminio liberados para formar flóculos, también se producen más moléculas de H^+ que al ascender llevan las partículas de óxido a la superficie en forma de espuma (Mollah & Humpire, 2010). Por otro lado, en los experimentos N.º: 1,3,5,7,9 y 11, trabajó a un tiempo de 25 minutos, lograron una menor disminución de 60.48 %.

Al concluir con los experimentos plasmados en el diseño factorial se evidencia que los factores óptimos vienen a ser una densidad de corriente de $84,81 A/m^2$ y un tiempo de tratamiento de 35 minutos que logró una remoción al 94.06% este resultado demuestra que la técnica de electrocoagulación es viable en la reducción significativa de los SST, comparando los resultados con Bazrafshan et al (2013) quien en su investigación trató el lactosuero mediante la electrocoagulación, donde pudo remover un 97% de SST, considerando una densidad de corriente de $29.7 A/m^2$ y 60 minutos de tratamiento se puede comprobar que el tiempo de tratamiento influye directamente en la reducción de los SST, por otro lado, en el trabajo realizado por López & Harnisth (2016) logro una remoción de 55.31% con un tiempo de tratamiento de 30 minutos y densidad de corriente de $56.7 A/m^2$ esta diferencia de 18.48 % en la remoción de SST se origina por la cantidad suministrada de densidad de corriente.

4.1.4. Implicancias.

El estudio es realizado como una acción ante la prohibición de la municipalidad a la industria manufactura láctea de verter el agua residual a la red de alcantarillado es por ello que el presente estudio busca una solución viable de tratamiento, los productores están sujetos a la responsabilidad de tratar sus aguas residuales, puesto que el

vertimiento directo de suero hacia el alcantarillado viene afectando a la planta de bombeo CAISON, ocasionando el desborde de aguas servidas, contaminando al medio ambiente y a la población con olores fétidos, produciendo enfermedades, es por esta razón que se buscó una alternativa de solución a este problema, al ensamblar el reactor Bach y poder tratar el agua residual que se genera en un día.

4.1.5. Limitaciones

En el diseño experimental se tomó en consideración a los sólidos suspendidos totales como indicador de la eficiencia de la técnica de electrocoagulación, para demostrar su eficacia, se pudo haber considerado los parámetros de DQO y DBO5, por temas de coyuntura actual que pasa el país no se pudo realizar, en cambio, para el parámetro SST se tuvo los materiales y equipos para el análisis.

4.1.6. Conclusiones

- ✓ El agua residual de la manufactura láctea tuvo una caracterización fisicoquímica inicial de 9370 mg/L de SST y 4.6 de pH.
- ✓ La densidad de corriente influye en la remoción de los SST en este proceso de electrocoagulación en específico el valor óptimo fue 84,81 A/m² que logro un 94.06 % de disminución de los SST.
- ✓ El tiempo de tratamiento influye en la remoción de los SST en este proceso de electrocoagulación en específico el valor óptimo fue 35 minutos que logro un 94.06 % de disminución de los SST.
- ✓ El agua residual de la manufactura láctea tuvo una caracterización fisicoquímica final de 550.3 mg/L de SST y 4.8 de pH.
- ✓ Se concluyo que a través del análisis de varianza que las variables involucradas en el proceso (densidad de corriente y tiempo de residencia) y su interacción son relevantes para la remoción de los SST.

REFERENCIAS

- Alamo, A., & Oquendo, A. (2007). *La gestión medioambiental en la industria Láctea. Tecnología química*, 27(2), 48-54.
- Aristizabal, A., & Bermúdez, M. (2007). *Estudio de la factibilidad de un sistema de electrocoagulación para tratamiento de aguas procedentes de lavanderías industriales con fines de reúso*. Medellín - Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana. 63 pág.
- Alvaro, R., & Garcés, L. (2007). *Diseño de una celda de electrocoagulación*. Universidad Eafit Medellín, Colombia.
- Abad E, Delgado P., y Cabrero J. (2010). La investigación-acción-participativa. Una forma de investigar en la práctica enfermera. *Invest. educ. enferm.* 28(3):464-474.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. (6ª Edición). Caracas: Editorial Episteme.
- Arango, A. (2007). *Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea*. Revista universidad EAFIT. Colombia.
- Arango, A. (2005). La Electrocoagulación: Una Alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de Investigación*, Volumen 2, 49- 56.
- Arango, A., & Garcés, L. (2008). “*Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea por electrocoagulación*”, Corporación Universitaria Lasallista, facultad de Ingeniería Química, Colombia.

- Bazrafshan, E., Moein, H., Mostafapour, F., & Nakhaie, S., (2013). “*Application of Electrocoagulation Process for Dairy Wastewater Treatment*”, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran.
- Benavent, A, Alcaide, G, González De Dios, J, y Arroyo, A. (2011). *Fuente de información bibliográfica (I). Fundamentos para la realización de búsquedas bibliográficas*. Acta Pediátrica Española, 69 (3), pp. 131-136.
- Balestrini A., & Mirian. (2001). “*Como se elabora el proyecto de Investigación*”. BL Consultores Asociados. Servicio Editorial. Caracas, Venezuela.
- Berenguer, A. (2009). *Tratamiento de aguas residuales mediante tecnología electroquímica*. Universidad de Alicante, España.
- Benazzi, T., Di Luccio, M., Dallago, Steffens, R., Mores, R., Do Nascimento, M., Krebs, J., & Ceni, G. (2016). *Continuous flow electrocoagulation in the treatment of wastewater from dairy industries*, ProQuest. DOI: 10.2166/wst.2015.620
- Bensadok, K. Hanafi, N., & Lapticque, F. (2011). *Electrochemical treatment of dairy effluent using combined Al and Ti/Pt electrodes system, Desalination*. Elsevier Applied Science, 280, pp. 244–251, DOI: 10.1016/j.desal.2011.07.006
- Chacon, F. y Huampotura, C. (2021). *Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea ramirez - anta- comone*. Facultad de ingeniería de procesos. Universidad nacional de san antonio abad del cusco.
- Chavez, E. y Alexandra, F. (2020). “*Propuesta para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales en una empresa agroindustrial, arequipa*”

- 2020”. Facultad de ingeniería de producción y servicios , Universidad nacional de san agustín arequipa.

Demirel , B. Yenigun, O. & Onay, T. (2005). *Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review*. Process Biochemistry, 40(8), 2583-2595.

Dorio, I., Sabariego, M., y Massot, I. (2004). “*Características generales de la investigación cualitativa*”. En R. Bisquerra (Coord.). Metodología de la investigación educativa (pp. 204-219). Madrid: La Muralla

Dávila, G. (2006). *El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales*. Laurus, 12, 180-205.

Fernández, S. (2002). *Investigación cuantitativa y cualitativa*. Cad Aten primaria complejo Hospitalario Juan Canalejo. Coruña, España. 76-78 pag.

Guohua, Chen. (2004) *Electrochemical technologies in wastewater treatment*. Separation and Purification Technology 38, 11-41.

Ghahremani, H. Bagheri, s. . Hassani., s & Khoshchereh, M. (2012). *Treatment of Dairy Industry Wastewater using an Electrocoagulation Process*. Department of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.

Hamdani, A. Chennaoui, M. Assobhei., O & Mountadar, M. (2004). *Dairy effluent characterization and treatment by coagulation decantation*. Lait, 84, pp. 317–328, DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2003.0012>.

Hernández S., & Roberto. (1998). “*Metodología de la Investigación*”. McGraw-Hill Editores. México.

Holt, P., Barton, G. & Mitchell, C. 2005. The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59(3): 355- 367.

Humpire, f. (2017). “*efecto del ph y tiempo en la depuración de lactosuero residual por electrocoagulación*”. Universidad nacional del altiplano, facultad de ciencias agrarias, escuela profesional de ingeniería agroindustrial. Puno.

Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2019). Perú: *estimaciones y proyecciones de poblaciones de población por sexo, según departamento, provincia y distrito*.⁹

Indigoye, D. (2019). *Remoción de materia orgánica de aguas residuales de la industria láctea por el método de electrocoagulación, utilizando energía eólica*. Facultad de ingeniería química, Universidad nacional del centro del Perú, Huancayo.

Jovanovic, S. Barac, M., & Macej, O. (2005). *Whey proteins-properties and possibility of application*. *Mljekarstvo*, 55(3), 215-233.

Koboya, M. Can, O., & Mahmut, B. (2003). *Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminium electrodes*. *Journal of Hazardous Materials*, 100, 163-178.

Kvale, S. (1996). *Interviews. An introduction to qualitative research interviewing*. Londres: Sage.

Kerlinger, F., (1979). *Behavioral research: A conceptual approach*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

López, P., Harnisth, A., (2016) *Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea*, Universidad tecnológica equinoccial, Ecuador.

Morales, S., (2018). *“Remoción de aceites y grasas de un efluente industrial del sector lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio”* facultad de ingeniería química y textil, universidad nacional de ingeniería lima.

Moscoso, J., Egocheaga, L. y Ramírez, M. (2015). *“Validación de Lineamientos para Formular Políticas de Gestión del Agua Residual Doméstica en América Latina”*. 2005.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014. *Fiscalización Ambiental En Aguas Residuales*. Vol. 1, pp. 1-42.

Ping, G. (2005). *Removal of Chromium (VI) from wastewater by combined electrocoagulation-electroflotation without a filter*. *Separation and purification technology*, 43, 117-123.

Pinto, A., & Gutierrez, Y. (2020) *“Tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea mediante el proceso de electrocoagulación”*. Universidad Nacional De San Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos. Escuela profesional de ingeniería química.

Palomino, G., & Ramos, C. (2021) *“Revisión sistemática sobre la aplicación de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea”*. Escuela profesional de ingeniería ambiental, Universidad cesar vallejo.

Paredes, R., & Tejada, J. (2022) *“Aplicación de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria textil, una revisión sistemática de los últimos 10 años”*. Facultad de ingeniería y arquitectura, Universidad cesar vallejo.

Perez, P., & Rodriguez, R. (2018). “*Remoción de DQO y DBO del lactosuero acido mediante el una celda de electrocoagulación*”, Facultad de Ingeniería Química, Universidad nacional del centro del peru, Huancayo.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2010) Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019, Organización de las Naciones Unidas. Kenia.

Rodríguez, M & Mendivelso, F. (2018). *Diseño de investigación de corte transversal* Revista Médica Sanitas, - researchgate.net, DOI: <https://doi.org/10.26852/01234250.20>.

Rodríguez, P. (2008). “*Material de Seminario de Tesis*”. (Guía Para Diseñar Proyectos de Investigación de Tesis del Doctorado en Estudios Fiscales de la FCA de la UAS).

Restrepo, A. Arango, A., & Garcés, L. (2006). *La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. Línea de investigación: Tratamiento de aguas*. Corporación Universitaria Lasallista. 1(2): 58-77.

Tamayo & Tamayo, M. (2006). *Técnicas de Investigación*. (2ª Edición). México: Editorial McGraw Hill.

Silva, G. Santos, R. Marques, J., & Bonato, L. (2012). *The efficiency of electrocoagulation in treating wastewater from a dairy industry, Part I: Iron electrodes*, ProQuest DOI: 10.1080 / 03601234.2012.646174.

Sybila Tabra (2013) “La preocupante y desigual situación del agua en el Perú” – SERVENDI

- 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, DOI: 10.1016/j.desal.2007.05.013
- Vilanova, J. (2012). *Revisión bibliográfica del tema de estudio de un proyecto de investigación. Radiología.*, 54 (2), pp. 108-14.
- Vilca, G. & Yojan E. (2020). “*Tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea mediante el proceso de electrocoagulación*” Universidad Nacional de San Agustín
- Velásquez, D. (2017). “*Aplicación del método de electrocoagulación al efluente de la planta piloto de leche “la molina”*”. Universidad nacional agraria La Molina.

ANEXOS

ANEXO 1. FICHA DE REGISTRO DE DATOS (CADENA DE CUSTODIA).

REGISTRO DE LA CADENA DE CUSTODIA

Nombre de la tesis:

Punto de muestreo	Fecha	Hora de toma de muestra	N.º de frasco		Clasificación: grupo-sub-grupo	Preservante	Parámetro de ensayo		Observación
			Vidrio	Plástico			SST	pH	

Leyenda:

Clasificación de la matriz agua, Referente: NTP 214.042

Grupo: Agua residual.

Subgrupo: Doméstico, Industrial, Municipal.

ANEXO 2. ETIQUETA PARA MUESTRA DE AGUA.

ETIQUETA PARA MUESTRA DE AGUA	
Punto de muestreo	:
Ensayo	:
Preservante	:
Tipo de muestra	:
Fecha/Hora	:
Muestreado por	:

ANEXO 3. ANEXO 1-VMA

Parámetro	Unidad	Expresión	Valores Máximos Admisibles
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T)	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	A y G	100

Nota. (D.S. N.º 021-2009-VIVIENDA).

ANEXO 4.



MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE UMACHIRI OFICINA
AMBIENTAL Y SANEAMIENTO BÁSICO Y ATM



NOTIFICACION

Señor: Luciano lima nayhua

De la planta quesera:

Siendo horas 10:00 am, del día 12 del mes de Agosto del 2021 mediante la oficina técnica ambiental de Saneamiento básico y Área técnica municipal, de la Municipalidad distrital de Umachiri, se notifica a las plantas queseras de la zona urbana de Umachiri, con el objetivo de sensibilizar sobre el vertimiento directo de suero hacia el alcantarillado que está afectando a planta de bombeo CAISON, ocasionando el desborde de aguas servidas, contaminando a la población con olores fétidos, produciendo enfermedades y contaminación al medio ambiente; se pone en conocimiento, conforme a las actas suscritas en distintas reuniones, entre la Municipalidad y representantes de las plantas queseras, en donde acordaron no realizar el vertimiento de suero directamente al alcantarillado y buscar otras alternativas mientras las plantas queseras puedan trasladar a otro lugar adecuado.

Por lo tanto, se exporto a los propietarios y/o administradores de las plantas queseras se abstengan de realizar vertimiento de aguas residuales (suero) al sistema de alcantarillado (desague), bajo, apercibimiento de tomar medidas legales que correspondan.

ANEXO 5. MEDICIÓN DEL PARÁMETRO pH Y MUESTRAS DE AGUA



ANEXO 6. CADENA DE CUSTODIA

REGISTRO DE LA CADENA DE CUSTODIA									
Nombre de la tesis: <u>Remoción de materia orgánica de aguas residuales de una microempresa láctea por el método de electrocoagulación...</u>									
Punto de muestreo	Fecha	Hora de toma de muestra	N.º de frasco	Clasificación grupo-sub-grupo	Preservante	Parámetro de ensayo		Observación	
						Vidrio	Plástico		
MUESTRA INICIAL	12/22	20:00	1	ARI	—	—	✓	✓	PH INICIAL: 4.63 SST: 9275
MUESTRA 1A	12/22	20:10	1	ARI	—	—	✓	✓	PH FINAL: 4.78 SST: 5889.6 A: 3A V: 3V TIEMPO: 25 MINUTOS DENSIDAD DE CORRIENTE:
MUESTRA 1B	12/22	20:40	1	ARI	—	—	✓	✓	PH FINAL: 4.82 SST: 2948.6 A: 3A V: 3V TIEMPO: 35 MINUTOS.
MUESTRA 1C	12/22	21:15	1	ARI	—	—	✓	✓	PH FINAL: 4.85 SST: 1594.7 A: 5A V: 4.2 TIEMPO DE TRATAMIENTO: 25 MINUTOS
MUESTRA 1D	12/22	21:40	1	ARI	—	—	✓	✓	PH FINAL: SST: 5265. A: 5A V: 4.2 TIEMPO DE TRATAMIENTO: 35 MINUTOS.

Leyenda:
 Clasificación de la matriz agua, Referente: NTP 214.042
 Grupo: Agua residual
 Subgrupo: Doméstico, Industrial, Municipal

REGISTRO DE LA CADENA DE CUSTODIA									
Nombre de la tesis: <u>REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE AGUAS RESIDUALES DE UNA MICROEMPRESA LÁCTEA POR EL MÉTODO</u>									
Punto de muestreo	Fecha	Hora de toma de muestra	N.º de frasco	Clasificación: grupo-sub-grupo	Preservante	Parámetro de ensayo		Observación	
						Vidrio	Plástico		
MUESTRA INICIAL 2	19 12 22	20:00	1	ARI	—	—	✓	✓	PH FINAL: 4.64 SST: 9698
MUESTRA 2A	19 12 22	20:10	1	ARI	—	—	✓	✓	PH FINAL: 4.8 A: 3A V: 3V TIEMPO DE TRATAMIENTO: 25 MINUTOS. SST: 5421.1
MUESTRA 2B	19 12 22	20:40	1	ARI	—	—	✓	✓	PH FINAL: 4.84 A: 3A V: 4.2 TIEMPO DE TRATAMIENTO: 25 MINUTOS SST: 3187.6
MUESTRA 2C	19 12 22	21:15	1	ARI	—	—	✓	✓	PH FINAL: 4.84 A: 5A V: 4.2 TIEMPO DE TRATAMIENTO: 35 MINUTOS SST: 2047
MUESTRA 2D	19 12 22	21:40	1	ARI	—	—	✓	✓	PH FINAL: 4.88 A: 5A V: 4.2 TIEMPO DE TRATAMIENTO: 35 MINUTOS. SST: 440.1

Leyenda:
 Clasificación de la matriz agua, Referente: NTP 214.042
 Grupo: Agua residual
 Subgrupo: Doméstico, Industrial, Municipal

“Remoción de sólidos suspendidos totales de las aguas residuales lácteas mediante una celda de electrocoagulación en el Distrito de Ayaviri, Puno, ”

REGISTRO DE LA CADENA DE CUSTODIA									
Nombre de la tesis: <u>REMOCION DE MATERIA ORGANICA DE AGUAS RESIDUALES DE UNA MICROEMPRESA LACTEA...</u>									
Punto de muestreo	Fecha	Hora de toma de muestra	N.º de frasco	Clasificación: grupo-sub-grupo	Preservante	Parámetro de ensayo		Observación	
						Vidrio	Plástico		
MUESTRA INICIAL 3	26 12 22	20:00	1	ARI		✓	✓	PH FINAL: 4.63 SST: 9137	
MUESTRA 3A	26 12 22	20:10	1	ARI		✓	✓	PH FINAL: 4.81 A: 3 V: 3 TIEMPO DE TRATAMIENTO: 25 MINUTOS SST: 5354.1	
MUESTRA 3B	26 12 22	20:40	1	ARI		✓	✓	PH FINAL: 4.83 A: 3 V: 3 TIEMPO DE TRATAMIENTO: 25 MINUTOS SST: 3448	
MUESTRA 3C	26 12 22	21:15	1	ARI		✓	✓	PH FINAL: 4.82 A: 3 V: 4.2 TIEMPO DE TRATAMIENTO: 35 MINUTOS SST: 1885.7	
MUESTRA 3D	26 12 22	21:40	1	ARI		✓	✓	PH FINAL: 4.90 A: 3 V: 4.2 TIEMPO DE TRATAMIENTO: 35 MINUTOS SST: 684.5	

Leyenda:
 Clasificación de la matriz agua, Referente: NTP 214.042
 Grupo: Agua residual
 Subgrupo: Doméstico, Industrial, Municipal.

ANEXO 7. RESULTADOS DE LABORATORIO



ANEXO 8. CERTIFICADO



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01
SEGÚN ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº LTA-0175-2022

Expediente : 0001291

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2022-10-13

1. Solicitante : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Dirección : AV. GUARDIA CHALACA 1877, BELLAVISTA-CALLAO

2. Instrumento calibrado : TERMÓMETRO CON INDICACIÓN DIGITAL

INDICADOR

Marca : HACH

Modelo : HQ40d

Nº de serie : 141200014981

Código : EM-OPE-03

Alcance : 0 °C a 60 °C

Resolución : 0,1 °C

Procedencia : U.S.A

Tipo de Sensor : Termistor

3. Lugar de calibración : En el laboratorio de Temperatura de ALAB E.I.R.L.

4. Fecha de calibración : 2022-10-13

5. Método de calibración :

La calibración se realizó por comparación directa siguiendo el PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales", Segunda Edición, 2012, INDECOPI

6. Trazabilidad :

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL - DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP)

Código	Descripción	Certificado de calibración
PTT-014	Termómetro Digital de Incertidumbre 0,016 C a 0,046 C	LT-217-2022 / INACAL-DM
PTT-026	Termómetro Digital de Incertidumbre 0,016 C a 0,046 C	LT-218-2022 / INACAL-DM

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.



Erika M. Pabmino Limache
Responsable del Laboratorio

Certificado de calibración N° LTA-0175-2022

Página 2 de 2

7. Condiciones de Calibración :

Tiempo de estabilización : 10 min

Profundidad de inmersión : 9 cm

Temperatura ambiental Inicial : 21,2 °C Final : 22,7 °C

Humedad relativa Inicial : 55,0 % h.r. Final : 62,0 % h.r.

8. Resultados de la Calibración :

SENSOR DE PHMETRO MODELO: PHC101 SERIE: 210882562589

Indicación del termómetro °C	Temperatura convencionalmente verdadera °C	Corrección °C	Incertidumbre °C
2,0	2,018	0,018	0,092
10,0	10,043	0,043	0,092
25,0	25,031	0,031	0,083
35,0	35,011	0,011	0,084

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
TCV = Indicación del termómetro + corrección

SENSOR DE CONDUCTIVIDAD MODELO: CDC401 SERIE: 150552588005

Indicación del termómetro °C	Temperatura convencionalmente verdadera °C	Corrección °C	Incertidumbre °C
2,1	2,022	-0,078	0,092
10,2	10,053	-0,147	0,092
25,1	25,037	-0,063	0,083
35,1	35,027	-0,073	0,084

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
TCV = Indicación del termómetro + corrección

SENSOR DE OXIDO DISUELTTO MODELO: LDO101 SERIE: 162032598017

Indicación del termómetro °C	Temperatura convencionalmente verdadera °C	Corrección °C	Incertidumbre °C
2,2	2,021	-0,179	0,092
10,2	10,054	-0,146	0,092
25,1	25,033	-0,067	0,083
35,1	35,031	-0,069	0,084

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
TCV = Indicación del termómetro + corrección

9. Observaciones :

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"; N° 023891
- Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.
- (*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherida al instrumento.

FIN DEL DOCUMENTO