

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y**  
**AMBIENTAL**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE JAÉN**

**PROCESO ELECTROLÍTICO PARA REMOVER  
CONTAMINACIÓN ORGÁNICA DEL AGUA MIEL DE LA  
POST COSECHA DE CAFÉ EN LA FINCA EL  
DIAMANTE, PROVINCIA DE JAÉN, 2021**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Autores: Bach. Berselli Mera Garcia**

**Bach. Tatiana Milagros Rosales Dávila**

**Asesor: Dr. Segundo Sánchez Tello**

**Línea de investigación: Conservación, manejo y aprovechamiento de los recursos  
naturales**

**JAÉN, 2023**

NOMBRE DEL TRABAJO

IF-TESIS (MILAGROS-BERSELLI)\_pdf

AUTOR

BERSELLI Y ATIANA MILAGROS MERA GARCIA Y ROSALES DÁVILA

RECUENTO DE PALABRAS

9055 Words

RECUENTO DE CARACTERES

48563 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

48 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.5MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 4, 2023 11:52 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 4, 2023 11:53 AM GMT-5

### ● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Fuentes excluidas manualmente
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)





## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 13 de setiembre del año 2023, siendo las 04.00: horas, se reunieron de manera **presencial**, los integrantes del Jurado:

**Presidente:** PhD. Wilfredo Ruiz Camacho

**Secretaria:** Dra. Mariela Nuñez Figueroa

**Vocal:** Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo, para evaluar la Sustentación del:

- Informe de Plan de Trabajo de Investigación  
 Informe Final de Tesis  
 Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado **“Proceso electrolítico para remover contaminación orgánica del agua miel de la post cosecha de café en la finca El Diamante, provincia de Jaén, 2021”** presentado por las bachilleres: Berselli Mera Garcia y Tatiana Milagros Rosales Dávila, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

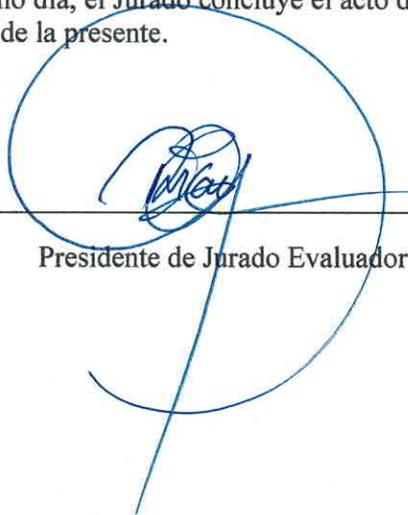
- Aprobar                       Desaprobar                       Unanimidad                       Mayoría

Con la siguiente mención:

- |              |            |        |
|--------------|------------|--------|
| e) Excelente | 18, 19, 20 | (    ) |
| f) Muy bueno | 16, 17     | (    ) |
| g) Bueno     | 14, 15     | ( 14 ) |
| h) Regular   | 13         | (    ) |
| Desaprobado  | 12 ó menos | (    ) |

Siendo las 04: 30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmado su participación con la suscripción de la presente.

  
\_\_\_\_\_  
Secretario de Jurado Evaluador

  
\_\_\_\_\_  
Presidente de Jurado Evaluador

  
\_\_\_\_\_  
Vocal de Jurado Evaluador

## INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
2.1. Materiales, Equipos e insumos .....	12
2.1.1. Materiales.....	12
2.1.2. Equipos .....	12
2.1.3. Insumos .....	12
2.2. Métodos.....	13
2.2.1. Descripción de la zona de estudio.....	13
2.2.2. Tipo y diseño de la investigación .....	14
2.2.3. Población, muestra y muestreo .....	14
2.2.4. Metodología .....	15
III. RESULTADOS.....	21
IV. DISCUSIÓN.....	32
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	34
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
DEDICATORIA.....	38
AGRADECIMIENTO .....	39
ANEXOS .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Modelo superficie de respuesta</i> .....	17
<b>Tabla 2.</b> <i>Modelo de optimización por Box Behnken</i> .....	20
<b>Tabla 3.</b> <i>pH de las muestras procesadas en el piloto experimental</i> .....	24
<b>Tabla 4.</b> <i>Niveles de la DQO después del proceso electroquímico</i> .....	25
<b>Tabla 5.</b> <i>Comparación de la DQO antes, después y del testigo en el proceso</i> .....	25
<b>Tabla 6.</b> <i>Optimización de la remoción de DQO mediante Box Behnken</i> .....	27
<b>Tabla 7.</b> <i>Análisis de varianza para DQO final</i> .....	28
<b>Tabla 8.</b> <i>Coefficiente de regresión para DQO final</i> .....	29
<b>Tabla 9.</b> <i>Valores óptimos de la minimización del DQO final</i> .....	20

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Mapa topográfico de la finca en investigación: El Diamante</i> .....	13
<b>Figura 2.</b> <i>Modelo de la metodología experimental</i> .....	15
<b>Figura 3.</b> <i>Descarga de la quebrada La Unión al cauce del río Tabaconas</i> .....	16
<b>Figura 4.</b> <i>Muestra cruda (a) y muestras procesadas (b) para su análisis químico</i> .....	19
<b>Figura 5.</b> <i>Etapas de la construcción del piloto experimental</i> .....	21
<b>Figura 6.</b> <i>Piloto experimental de un proceso electrolítico</i> .....	23
<b>Figura 7.</b> <i>Recojo de la muestra procesada de agua miel de café</i> .....	23
<b>Figura 8.</b> <i>Ubicación del pH analizado frente a las condiciones acuáticas</i> .....	24
<b>Figura 9.</b> <i>Comparación de la DQO del agua miel de café, en distintos estadios</i> .....	26
<b>Figura 10.</b> <i>Comparación del impacto sobre la DQO del agua miel de café</i> .....	26
<b>Figura 11.</b> <i>Diagrama de Pareto estandarizado para la DQO final</i> .....	29
<b>Figura 12.</b> <i>Superficie de respuesta estimada para interacción de tres variables</i> .....	31

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO 1: Resultado del análisis del promedio pH y DQO de agua miel cruda.....	40
ANEXO 2: Resultados del análisis de las 14 muestras de DQO y pH.....	41
ANEXO 3: Obtención del agua miel de café por estrujado del grano de café.....	42
ANEXO 4: Toma de muestra de agua miel de café.....	42
ANEXO 5: Descarga de agua miel ingresa al cauce de la quebrada La Unión.....	42
ANEXO 6: Ajustes y conexión de los electrodos de aluminio.....	43
ANEXO 7: Construcción de celdas electrolíticas.....	43
ANEXO 8: Adaptación de botellas para resguardo de muestras procesadas.....	43
ANEXO 9: Pesado del cloruro de sodio.....	44
ANEXO 10: Medida in situ del pH acido del agua miel de café.....	44
ANEXO 11: Reactivos para conseguir el pH de trabajo.....	44

## RESUMEN

Se removió la contaminación orgánica del agua miel de café de la finca El Diamante, Jaén. El agua miel de café arrojó pH: 3.81 y un DQO: 1670 ppm., evidencia del alto poder contaminante al medio ambiente. *Metodología:* Se aplicó un diseño experimental de superficie de respuesta mediante un piloto experimental de electrocoagulación conformado por 14 celdas electroquímicas, electrodos de Al de 6, 15 y 24 cm<sup>2</sup>, pH 6, 7, 8; y 2, 6, 10 g NaCl y 12 voltios de corriente. Al final de 30 minutos el agua miel procesada formó una torta sobre su superficie. *Resultado:* El agua miel inicial fue DQO: 1670 ppm, después del proceso electroquímico la DQO bajó entre 388 y 748 ppm. De las 13 muestras procesadas la remoción máxima de DQO fue 1282 ppm. y con el diseño óptimo Box–Behnken, la DQO reduciría su DQO a 385.53 ppm., pudiéndose remover un DQO igual 1284.47 ppm. las variables óptimas para la remoción óptima serían pH = 6.37, concentración de 6.36 gr NaCl y una superficie de aluminio de 24.0 cm<sup>2</sup>. *Conclusión:* El proceso electroquímico sin reactivos fue una alternativa tecnológica para reducir DQO del agua miel de café utilizando materiales comunes.

**Palabras claves:** Agua residual, electrocoagulación, DQO.

## ABSTRACT

Organic contamination was removed from coffee honey water from the El Diamante farm, Jaén. The coffee honey water yielded pH: 3.81 and a COD: 1670 ppm. Evidence of the high polluting power to the environment. *Methodology:* An experimental design of response surface was applied through an experimental electrocoagulation pilot made up of 14 electrochemical cells, Al electrodes of 6, 15 and 24 cm<sup>2</sup>, pH 6, 7, 8; and 2, 6, 10 g NaCl and 12 volts of current. At the end of 30 minutes the processed honey water formed a cake on its surface. *Result:* The initial honey water was COD: 1670 ppm, after the electrochemical process the COD dropped between 388 and 748 ppm. Of the 13 samples processed, the maximum COD removal was 1282 ppm. and with the optimal Box-Behnken design, the COD would reduce its COD to 385.53 ppm, being able to remove a COD equal to 1284.47 ppm. the optimal variables for optimal removal would be pH = 6.37, concentration of 6.36 gr NaCl and an aluminum surface of 24.0 cm<sup>2</sup>. *Conclusion:* The electrochemical process without reagents was a technological alternative to reduce COD from coffee honey water using common materials.

**Keywords:** Residual water, electrocoagulation, COD.

## I. INTRODUCCIÓN

Jaén y San Ignacio resaltan por su alta producción de café (MIDAGRI, 2020). La post cosecha produce excesiva agua residual cuya característica es su  $DQO > 1500$  y baja acidez. Asha y Manoj (2015 b) describió la problemática en base a la caracterización de las aguas residuales, es decir, interpretó su composición física y química, señalando las sustancias contaminantes (ST, SS) y la materia orgánica diluida expresada en DQO. Lamentablemente, esta actividad agrícola es muy común en la provincia de Jaén, Cajamarca. La post cosecha de café expone azúcares y pectina del grano según (Savall, 1995), lo que eleva su demanda de oxígeno en la oxidación. Sin embargo, la sola presencia de azúcares origina una descomposición natural de las mismas, y esta actividad se consigue mediante métodos químicos (oxidación) o de forma bioquímica (digestión-respiración) en ambos casos, el factor clave es la cantidad de oxígeno consumida, medida por la oxidación de agentes oxidantes en el análisis demanda química de oxígeno (DQO) o por microorganismos en el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Sahana et al., 2018). DBO y DQO son utilizados por el Ministerio del Ambiente (2010) para establecer las condiciones de drenaje de un agua residual hacia un cuerpo de agua dulce como quebradas y ríos. La exigencia es que el agua residual no debe tener un elevado DQO. Varias metodologías intentan mermar el grado de contaminación de la actividad cafetalera, como la fito-remediación, bio-remediación (anaerobiosis) y el proceso electrolítico; este último fue utilizado para la investigación.

La eficiencia del DQO y la eliminación de color de las aguas residuales del procesamiento del café crudo. Sahana et al (2018), utilizó un proceso de tratamiento de coagulación electroquímica por lotes el cual utilizó combinaciones de electrodos de acero inoxidable (SS) y hierro (Fe). Empleó varias combinaciones entre fierro y acero, todos ellos a 23 Voltios con  $120 \text{ Amperios/m}^2$  de superficie. Logró una eliminación de DQO de 87 % de su DQO inicial de  $1\ 984 \text{ mg/L}$  y una eliminación de color correspondiente del 97.1 % (color inicial  $7\ 000 \text{ PCU}$ ). Una segunda combinación de electrodos, redujo el DQO y color al 75 % y el 91 % respectivamente. Cuando se utilizó cloruro de poli aluminio (PAC) como coadyuvante con diferentes dosis de 20- 100 mg/L, 50 mg/L PAC mostró una DQO máxima y eliminaciones de color de 80 % y 92 % respectivamente.

Koby et al (2003) revisaron estudios durante 2008-2011 aplicaciones del proceso electrolítico para depurar diferentes tipos de aguas residuales. Las evaluaron en 7 categorías de aguas residuales. Describieron condiciones óptimas del proceso (tiempos de tratamiento, densidades de corriente y pH) y eficiencias de eliminación (en su mayoría altas). Experimentalmente, determinaron que el tiempo utilizado tuvo un rango de 5-60 min (típicamente menos de 30 min), 10-150 Amperios/m<sup>2</sup> y pH casi neutro, respectivamente.

Asha y Manoj (2015 b) evaluaron agua miel de café recolectada de fincas diferentes, con café Arábica y Robusta. El efluente emitido se caracterizó por pH bajo (3.92-4.99 y 4.56-5.04) tuvo alta carga orgánica DQO: (8 320-12 840 mg/L y 15 360-26 240 mg/L) y una DBO<sub>5</sub>: (940-1500 mg/L y 3000-4200 mg/L), además nitrógeno amoniacal (20-34 mg/L y 44-66 mg /L), nitrógeno nitrato (25-30 mg/L y 32-45 mg/L), fósforo (34-42 mg/L y 45-50 mg/L). Utilizaron ánodos de sacrificio y cátodo de aluminio para reducir la resistencia de las aguas. La DQO se redujo a 618 mg/L, nitrógeno amoniacal reducido a 3.23 mg/L, nitrógeno nitrato reducido a 2.4 mg/L y fósforo concentración reducida a 2.3 mg/L. En el caso de Robusta la DQO y los nutrientes fueron altos como el nitrógeno amoniacal, nitrato y fósforo fue de 317 mg/L, 1.27 mg/L, 1.12 mg/L y 2.2 mg/L respectivamente.

Asha y Manoj (2015a) investigaron aguas residuales de despulpado de café de características pH bajo, alta concentración de DQO, amoníaco nitrógeno, nitrato, nitrógeno y fósforo. Utilizaron placas de aluminio (Al) como electrodos para ánodo y cátodo, densidad de corriente 93.87 Amperios/m<sup>2</sup>, encontraron que el rendimiento del reactor electroquímico fue bueno. Sus resultados arrojaron una eliminación de DQO, nitrógeno amoniacal, nitrógeno nitrato y fósforo del 95 %, 90 %, 89 % y 94 %, respectivamente. Por otra parte, determinaron que la relación DBO<sub>5</sub> con DQO aumentó de 0.012 a 1.49 en 105 minutos de duración de la electrólisis, lo que indicó una mejora de la biodegradabilidad de las aguas residuales. Demostraron que la técnica de electrocoagulación seguida por el tratamiento biológico (podría ser un proceso anaeróbico) ofrecía una alternativa eficiente y económica para tratar efluentes industriales con compuestos orgánicos recalcitrantes, como, por ejemplo, aquellos presentes en las aguas residuales de despulpado de café.

Supriya et al (2015) determinaron que la post cosecha de café generó enormes cantidades de agua miel que requieren un tratamiento sistemático antes de su eliminación. Afirmaron que el procesamiento anaeróbico del café húmedo requiere un cierto grado de conocimientos técnicos para su funcionamiento. Concluyeron, que las aguas mieles de café presentaron (DBO) de hasta 20 000 mg/Lt; (DQO) de hasta 50 000 mg/Lt, pH por debajo de 4. En su investigación discutieron técnicas para el tratamiento de aguas residuales.

Gutiérrez (2020) realizó un tratamiento de oxidación combinado (Fotoquímico - Electroquímico) para agua residual textil con DQO 1 458 mg/L. Utilizó la metodología de superficie de respuesta evaluar los factores influyentes a la respuesta y para optimizar el tratamiento. Los factores de cada etapa de tratamiento (*etapa Fotoquímica*: Relación de reactivos Fenton 11.2-26.2, Tiempo de tratamiento 60-180 min, potencia de lámpara 4-18 W, pH 2-4; *etapa electroquímica*: densidad de corriente: 800-1000 A/m<sup>2</sup>, pH 7-11, concentración de cloruros 4-6 g/L, temperatura 30-42 °C, tiempo de tratamiento 60-180 min, tipo de electrodo Pt-Ti/Ru-Ir. Concluyó que el método de tratamiento combinado arrojó una reducción de la carga orgánica persistente de 97.7 %.

El objetivo general de la investigación fue remover contaminación orgánica del agua miel de café de la post cosecha de café mediante un proceso electrolítico, en la finca El Diamante, provincia de Jaén, 2021. Esto, fue posible mediante la ejecución de los siguientes objetivos:

- Construir un piloto experimental a pequeña escala para el proceso electrolítico del agua miel de café.
- Caracterizar físico química del agua miel de café de la finca cafetalera en estudio.
- Determinar la remoción óptima de DQO del agua miel de café, mediante el diseño Box - Behnken.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales, Equipos e insumos

#### 2.1.1. Materiales

- Libreta de apuntes y papel A4
- Lapiceros y plumones
- Tijera
- Cables de corriente eléctrica N°12
- Latas de cerveza de aluminio 6, 15 y 24 cm<sup>2</sup>
- Hielo en bloques
- 40 latas de Café maduro: cereza
- Botellas de vidrio ámbar
- Botellas de plástico de 2.5 L. y 500 ml
- Alicata
- Lija de fierro
- Pernos y huachas
- Cinta de embalaje
- Galonera color azul
- Corcho y cartón
- Cinta de pH
- Pinza de batería
- Malla de lavado
- Tina plástica

#### 2.1.2. Equipos

- Laptop
- Cámara fotográfica
- Batería de automóvil
- Balanza gramera
- GPS
- Software estadístico

#### 2.1.3. Insumos

- Bicarbonato de sodio NaHCO<sub>3</sub>
- Cloruro de sodio NaCl
- Ácido muriático comercial (HCl)

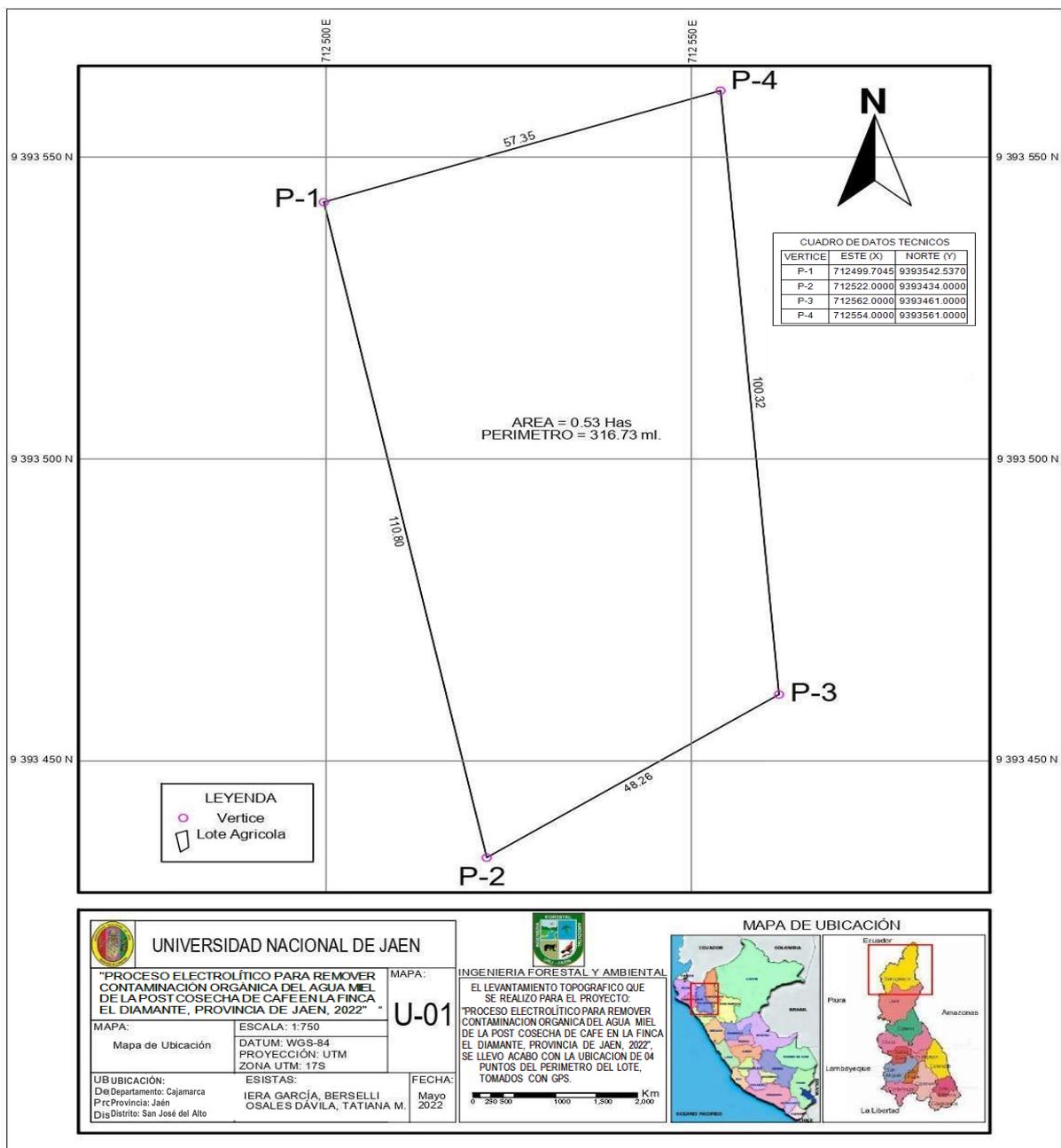
## 2.2. Métodos

### 2.2.1. Descripción de la zona de estudio

La finca “El diamante” está ubicado en el caserío La Unión, distrito San José del Alto, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca. Se ubicó a 1 052 m.s.n.m., la T° máxima promedio fue 27° C, registró una precipitación media anual de 16 mm. Respecto a las distancias de localización, la zona de estudio se ubicó en aproximadamente 70 kilómetros desde la ciudad de Jaén.

**Figura 1.**

*Mapa topográfico de la finca en investigación: El Diamante*



## 2.2.2. Tipo y diseño de la investigación

- **Tipo de estudio**

La investigación es del tipo aplicada, por afrontar una temática (emisión de aguas mieles de café) que analizo para determinar sus propiedades físicas químicas.

- **Diseño de estudio**

El método es experimental, ya que manipulo variables independientes como acidez expresadas en pH, sales disueltas expresadas por adicción de cloruro de sodio (NaCl), electrodos de aluminio expresadas por la superficie anódica y catódica, que permitió reducir la carga orgánica reflejada a través de los resultados del análisis de laboratorio adjuntos en Anexos (análisis de acidez en el pH y (DQO).

## 2.2.3. Población, muestra y muestreo

- **Población**

La población estuvo conformada por el caudal de agua miel obtenida producto del pilado del grano de café maduro, en la finca El Diamante de 0.53 hectáreas dedicada para las tareas propias de la investigación.

- **Muestra**

En la investigación, la muestra estuvo conformada por un volumen de 30 litros de agua residual de café.

La operación inició el 29 de junio del 2022, se realizó la cosecha de 40 latas de café del grano de café maduro denominado “cereza”. Los granos de café se sometieron a una operación de despulpado para eliminar la cáscara y exponer el grano despulpado a una fermentación natural y espontánea durante 24 horas. Al día siguiente (30 de junio) se procedió a realizar el lavado del grano estrujando y apoyados de una malla típica hasta que se retiró la película gelatinosa del grano, así se obtuvo agua miel a granel en una tina.

- **Muestreo**

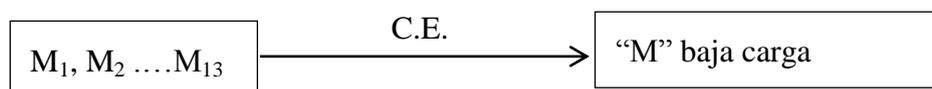
El muestreo se realizó aplicando el método estadístico no probabilístico o por conveniencia. El área y ubicación de la parcela fue realizada con la ayuda de un equipo GPS (Global Positioning System) se tomaron los puntos determinados de la finca en evaluación y los programas Argis.

#### 2.2.4. Metodología

En la investigación para reducir la carga orgánica se utilizó el modelo de la metodología experimental.

#### Figura 2.

*Modelo de la metodología experimental.*



M 1, M 2 .....: Muestras de volúmenes de agua miel de café con alta carga orgánica.

M .....: Muestras de volúmenes de agua miel con baja carga orgánica. CE: Celda electrolítica.

La investigación fue realizada con la línea de investigación: Conservación, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, aprobada por la Universidad Nacional de Jaén mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 162-2020-CO-UNJ del 20 de mayo de 2020, para el cuidado de la calidad de los recursos como el agua, suelo y aire.

#### a) **Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos**

##### - **Método**

Entre las actividades se constató el impacto ambiental de la actividad cafetalera en esta zona de Jaén y el beneficio económico de la actividad productiva de café sobre la familia responsable.

### **Contaminación del agua dulce:**

El agua miel de café durante cada temporada de cosecha (abril-julio) se ha convertido en una fuente de impacto ambiental debido al drenaje de estas aguas residuales, que arrastran una elevada cantidad de sustancias biodegradables liberados (azúcares, sustancias nitrogenadas, que en su conjunto elevan la demanda de oxígeno) cuando son retirados el mesocarpio y textura del mucílago que rodeó el café pergamino parcialmente descompuesto (Sahana et al., 2018), tal como se apreció en la coloración del agua turbia de la figura 3. Varias investigaciones refrendan los resultados hallados en la actual investigación, al plantear problemas ambientales por la elevada acidez ( $\text{pH} < 4.0$ ) y elevada ( $\text{DQO} > 1000$  ppm). Parte de la rutina agrícola el arrojó de agua miel sobre el propio terreno cafetalero, que por su perfil topográfico accidentado cae por gravedad a otros cuerpos de agua dulce.

Se realizó la observación del impacto hídrico, constatándose el arrojó del agua miel de café sobre la quebrada La Unión, el cual por gravedad fluyó hasta llegar al cauce del río Tabaconas, generándose un daño serio sobre el río, tal como se registró en la figura 3.

Este proceder fue muy corriente en todas las familias cafetaleras de esta parte de la región nor oriental del país. Obsérvese en las gráficas adjuntas el lodo de materia orgánica que desemboca en el cauce del río mencionado.

### **Figura 3.**

*Descarga de la quebrada La Unión al cauce del río Tabaconas*



### Modelo superficie de respuesta

Se utilizó el modelo de superficie de respuesta formulado por Box-Behnken, se inició con la selección de las variables manipuladas en tres grados de concentración o niveles tal, como registró en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Modelo superficie de respuesta*

Nivel de concentración	pH	Cloruro de sodio NaCl. gr.	Electrodos de aluminio
Máximo (+)	8	10	24 cm <sup>2</sup> .
Media (0)	7	6	15 cm <sup>2</sup> .
Mínimo (-)	6	2	6 cm <sup>2</sup> .

La acidez del agua miel quedó expresado por el pH, NaCl (gr/L) y área de electrodos de aluminio (cm<sup>2</sup>). Todas las variables fueron consignadas bajo niveles: máximo (+), media (0) y mínimo (-).

#### - Técnica

Se aplicó un proceso electrolítico conocido también como electrocoagulación, es decir se utilizó corriente eléctrica (tipo directa o continua) la cual fue tomada desde una batería y aplicada sobre el agua miel de café. Para lograr eficiencia se tomó en cuenta las siguientes variables intervinientes:

**Electrodos de aluminio:** Se utilizaron estos electrodos por su apreciable conductividad eléctrica de  $3.5 \times 10^7$  Siemens/m. Ello aseguró una eficiente distribución de la polaridad (positiva para el ánodo y negativa para el cátodo).

**pH:** El agua miel de café se caracterizó fue evaluada in situ cualitativamente con cintas de pH (menor precisión) y, de otra parte, en Laboratorio Rivelab SAC (alta precisión).

**Cloruro de sodio (NaCl):** Se utilizaron para facilitar la mejor conducción de la corriente eléctrica. La disolución de la sal generó

iones de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>, los cuales se formaron por la descomposición electroquímica de la sal.

- **Procedimiento**

Para el cumplimiento del primer objetivo se adquirieron algunos materiales reciclados necesarios para la construcción del piloto experimental a pequeña escala sometido a un proceso electrolítico:

**Construcción de los electrodos:** Se construyeron abriendo latas vacías de cerveza de aluminio, las cuales fueron cortadas y laminadas manualmente, a cada una de ellas se les adaptó un cable de corriente eléctrica sujeta con perno y arandela, con las medidas 6, 15 y 24 cm<sup>2</sup>.

**Construcción de las celdas electrolíticas:** Se construyeron cortando botellas de plástico 2.5 L con la capacidad para acopiar 1 000 mL de agua miel de café. Cada celda fue numerada para diferenciar el resultado en el análisis químico posterior al tratamiento.

**Botellas para agua miel procesada:** Para el resguardo de la seguridad física de las muestras de agua miel procesadas en el piloto experimental y lograr su envío al laboratorio Rivelab SAC, se utilizaron botellas de vidrio ámbar (oscuras para evitar algún tipo de reacción fotoquímica) de un volumen de 300 mL (cervezas pequeñas recicladas) a cada una de las botellas se le adaptó un corcho de cierre hermético y una etiqueta de numeración de cada una de ellas (1, 2, 3...13 y Testigo).

Para el segundo objetivo se caracterizó agua miel de café cruda, y el agua miel tratada en la electrocoagulación.

#### Figura 4.

*Muestra cruda (a) y muestras procesadas (b) para su análisis químico*



Para la caracterización física química en ambos casos (agua miel de café cruda y agua miel de café procesada en la planta piloto experimental) se analizaron variables influyentes en la contaminación como acidez (pH) y (DQO).

#### **pH**

La baja acidez del agua miel de café cruda fue agente de contaminación ambiental por restarle calidad al agua dulce y poner en peligro la vida y reproducción de peces, al agotar la cantidad de  $O_2$  disuelto del cuerpo de agua dulce (Asha y Manoj, 2015 b). Los valores del pH fueron ajustados de acuerdo a la tabla 1, es decir se ajustaron a un pH = 6, 7 y 8. De forma que para que cada celda haya funcionado con cada pH se hizo necesario adecuar el pH de cada celda electroquímica:

- Para obtener acidez (pH = 1-6) se utilizó gotas de ácido muriático comercial (HCl).
- Para obtener acidez (pH = 8-14) se utilizó sales de bicarbonato - de sodio  $NaHCO_3$ .

Para el desarrollo del tercer objetivo se tuvo en cuenta el modelo estadístico de Box-Behnken el cual estimó los efectos de los factores individuales (pH, gr. cloruro de sodio y área de los electrodos de aluminio) y/o sus interacciones sobre la variable respuesta (% remoción de DQO).

**Tabla 2.**

*Modelo de optimización por Box Behnken.*

N° de muestra	A :	B :	C :	DQO inicial agua miel cruda = Reporte Lab.		
	pH	Sal NaCl. (gr).	Electrodo Al (cm <sup>2</sup> ).	DQO <sub>f</sub> final	% DQO <sub>e</sub> eliminado $\frac{DQO_i - DQO_f}{DQO_i} * 100$	% remoción DQO $(DQO_e/DQO_i)*100$
1	6	2	15	Laboratorio	Calculado	Calculado
2	8	2	15	Laboratorio	Calculado	Calculado
3	6	10	15	Laboratorio	Calculado	Calculado
4	8	10	15	Laboratorio	Calculado	Calculado
5	6	6	6	Laboratorio	Calculado	Calculado
6	8	6	6	Laboratorio	Calculado	Calculado
7	6	6	24	Laboratorio	Calculado	Calculado
8	8	6	24	Laboratorio	Calculado	Calculado
9	7	2	6	Laboratorio	Calculado	Calculado
10	7	10	6	Laboratorio	Calculado	Calculado
11	7	2	24	Laboratorio	Calculado	Calculado
12	7	10	24	Laboratorio	Calculado	Calculado
13	7	6	15	Laboratorio	Calculado	Calculado
T	-	-	-	Laboratorio	Calculado	Calculado

Nota: A la muestra T no se le ajustó su pH, no se le agregó cloruro de sodio y tampoco fue sometido a un proceso electroquímico.

### III. RESULTADOS

Para la construcción del piloto experimental se desarrollaron las siguientes actividades:

**Figura 5.**

*Etapas de la construcción del piloto experimental*



### **Descripción del piloto experimental:**

El piloto experimental para el proceso electrolítico fue construido en base a materiales reciclados, de esta forma se promovió la cultura circular del rehúso de los materiales. Primeramente, se depositó agua miel de café sobre 14 celdas electrolíticas (botellas de gaseosa de dos litros y medio recortadas por la mitad), la celda (T14) no recibió ningún tratamiento y fue etiquetada como muestra testigo.

Sobre cada celda se depositó un litro de agua miel cruda, obtenida el mismo día del tratamiento. En cada celda electrolítica se introdujeron electrodos de aluminio de acuerdo al diseño Box – Behnken; es decir, de acuerdo al orden de la tabla 1.

Se utilizó electrodos de 6, 15 y 24 cm<sup>2</sup>; se graduó la acidez del pH del agua miel, tomando como referencia la misma tabla y finalmente, se agregó cloruro de sodio de acuerdo a la tabla mencionada. Por ejemplo, la celda electrolítica tres operó agregándose al agua miel 10 gramos de cloruro de sodio, se hizo un ajuste a un pH de 6 unidades y con la inmersión de dos electrodos de aluminio de 15 centímetros cuadrados. Cada celda electrolítica fue operada con la energía proporcionada por una batería de trece placas. La corriente fue 12 voltios de corriente continua de forma que el voltaje siempre fue el mismo para celda. La conducción de la corriente eléctrica fue posible con alambre de cobre N° 12. Para la confección de electrodos de aluminio se reciclaron envases de cerveza en lata sujetadas firmemente al alambre de corriente.

### **Funcionamiento:**

El agua miel cruda durante el proceso electrolítico inició un proceso de electrocoagulación de la materia orgánica la cual se observó de la misma forma como si se hubiese agregado sulfato de aluminio (característica de las plantas de tratamiento de agua potable). Es decir, sobre la superficie de cada celda electrolítica se formó una costra (torta) de materia orgánica durante los 30 minutos que duró cada tratamiento. Para retirar el agua miel tratada se realizó una perforación a la celda electrolítica, recibiendo la muestra procesada directamente sobre una botella observándose en ese instante la claridad el agua miel tratada el proceso electrolítico.

**Figura 6.**

*Piloto experimental de un proceso electrolítico*



**Figura 7.**

*Recojo de la muestra procesada de agua miel de café*



Nota: Obsérvese la transparencia del agua miel tratada que ingresa a la botella.

**Tabla 3.**

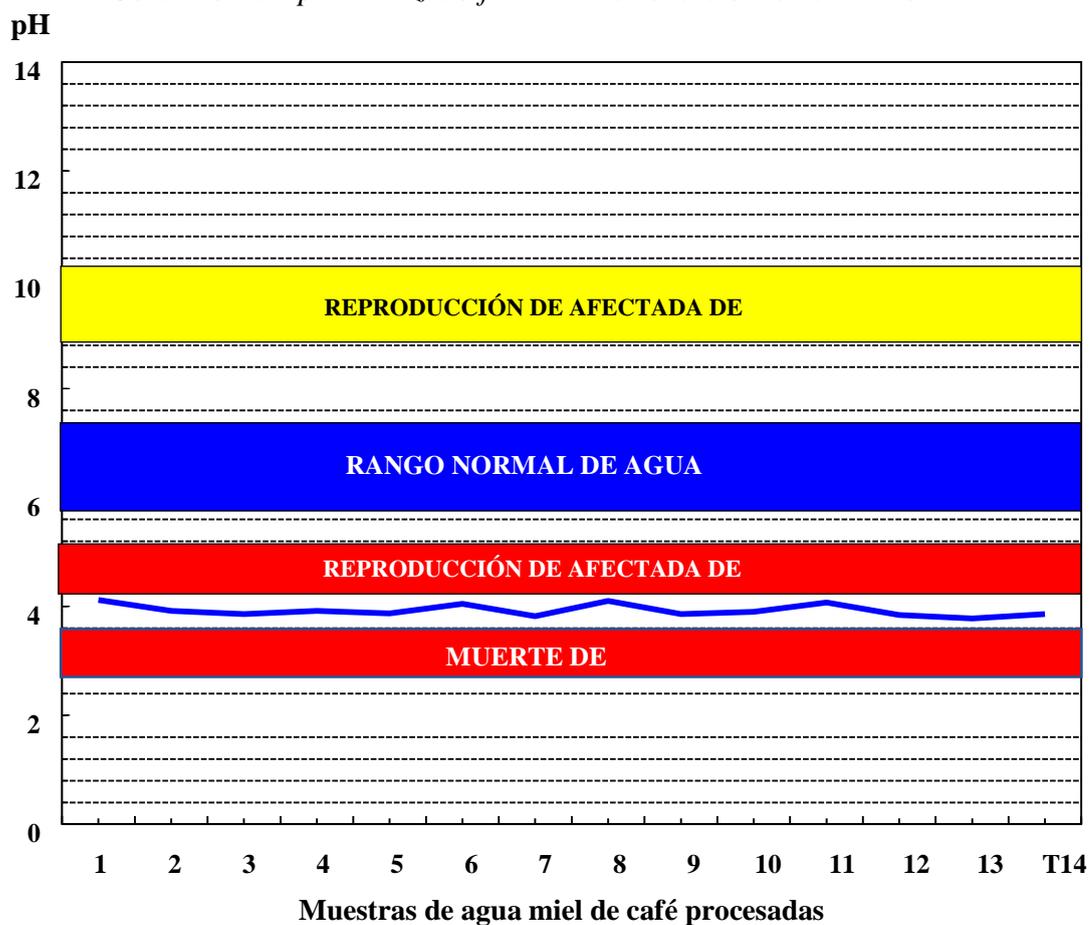
*pH de las muestras procesadas en el piloto experimental*

Muestra	pH	Muestra	pH	ECA
1	4.12	8	4.10	5.5 – 9.0
2	3.92	9	3.86	5.5 – 9.0
3	3.86	10	4.07	5.5 – 9.0
4	3.92	11	3.84	5.5 – 9.0
5	3.87	12	3.84	5.5 – 9.0
6	4.05	13	3.78	5.5 – 9.0
7	3.82	T14	3.86	5.5 – 9.0
<b>Promedio pH = 3.92</b>				

Fuente: Análisis Laboratorio Rivelab SAC.

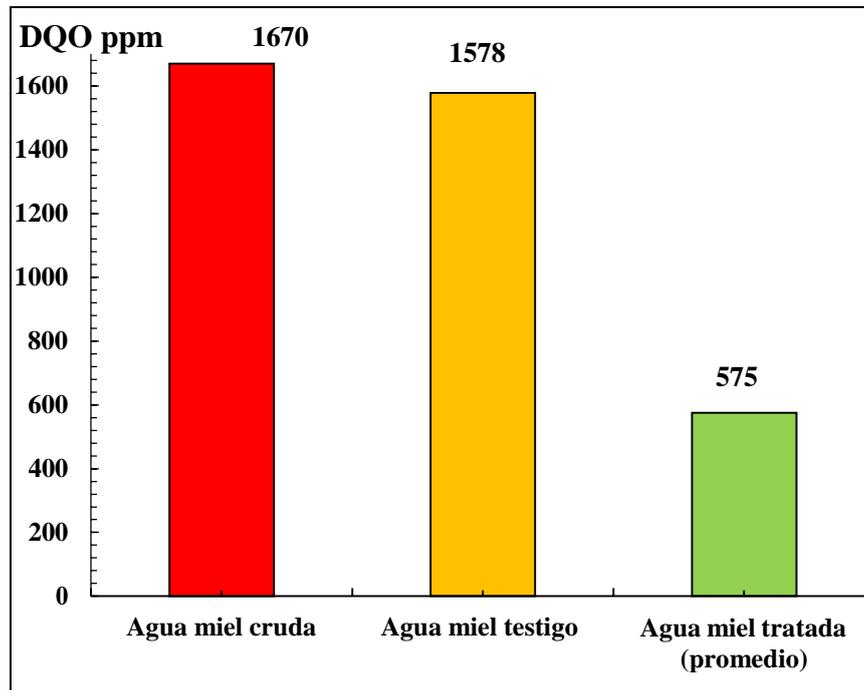
**Figura 8.**

*Ubicación del pH analizado frente a las condiciones acuáticas*



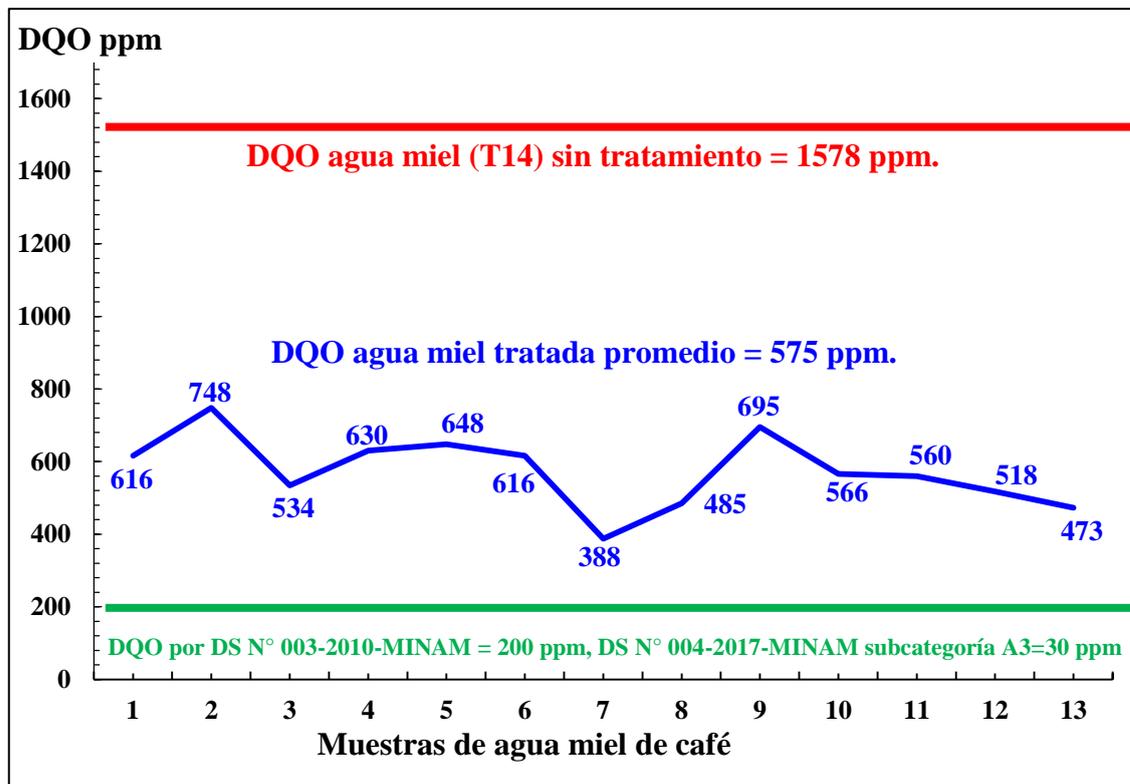
**Figura 9.**

*Comparación de la DQO del agua miel de café, en distintos estadios*



**Figura 10.**

*Comparación del impacto sobre la DQO del agua miel de café*



Para conocer la remoción óptima de la demanda química de oxígeno DQO, se recurrió a la aplicación del modelo de optimización denominado Box – Behnken mediante un procesamiento de información estadística el permitió conocer la superficie de respuesta de la interacción entre la acidez del agua miel de café (a un pH = 6, 7 y 8), concentración de cloruro de sodio (concentración de 2, 6 y 10 gr de NaCl) y la superficie (área) de ambos electrodos de cada celda electroquímica (área = 6, 15 y 24 cm<sup>2</sup>). El modelo estadístico señaló las condiciones óptimas para obtener un rendimiento óptimo de la remoción de la DQO. La tabla 7 representó las condiciones para el modelo Box – Behnken.

**Tabla 6.**

*Optimización de la remoción de DQO mediante Box Behnken.*

N° de muestra	A:	B:	C:	DQO inicial = 1 670 ppm (Laboratorio)		
	pH	Sal NaCl. (gr).	Electrodo Al (cm <sup>2</sup> ).	DQO <sub>f</sub> final	% DQO <sub>e</sub> eliminado DQO <sub>i</sub> - DQO <sub>f</sub>	% remoción DQO (DQO <sub>e</sub> /DQO <sub>i</sub> )*100
1	6	2	15	616	1054	63.1 %
2	8	2	15	748	922	55.2 %
3	6	10	15	534	1136	68.0 %
4	8	10	15	630	1040	62.3 %
5	6	6	6	648	1022	61.2 %
6	8	6	6	616	1054	63.1 %
7	6	6	24	388	1282	76.8 %
8	8	6	24	485	1185	71.0 %
9	7	2	6	695	975	58.4 %
10	7	10	6	566	1104	66.1 %
11	7	2	24	560	1110	66.5 %
12	7	10	24	518	1152	69.0 %
13	7	6	15	473	1197	71.7 %
T14	-	-	-	1578	92	5.5 %

**Análisis:**

Los datos de la tabla 7 mostraron que la máxima eficiencia de remoción fue del 76.8 %, como resultado de haberse eliminado una DQO de 1 282 ppm. hasta lograr reducir la carga orgánica DQO hasta 388 ppm (Resultados Rivelab SAC).

## Análisis estadístico Box – Behnken

**Tabla 8.**

*Análisis de varianza para DQO final*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:pH	10731.1	1	10731.1	6.07	0.0569
B:NaCl	17205.1	1	17205.1	9.74	<b>0.0262</b>
C:Electrodos Al	41184.5	1	41184.5	23.31	<b>0.0048</b>
AA	10866.7	1	10866.7	6.15	0.0558
AB	324.0	1	324.0	0.18	0.6863
AC	4160.25	1	4160.25	2.35	0.1855
BB	40514.1	1	40514.1	22.93	<b>0.0049</b>
BC	1892.25	1	1892.25	1.07	0.3482
CC	180.923	1	180.923	0.10	0.7619
Error total	8834.25	5	1766.85		
Total (corr.)	132842.	14			

Fuente: Software estadístico Statgraphics.

R-cuadrada = 93.3498 por ciento

R-cuadrada (ajustada por G.l.) = 81.3794 por ciento

Error estándar del est. = 42.0339

Error absoluto medio = 19.3

Estadístico Durbin-Watson = 1.49603 (P=0.0684)

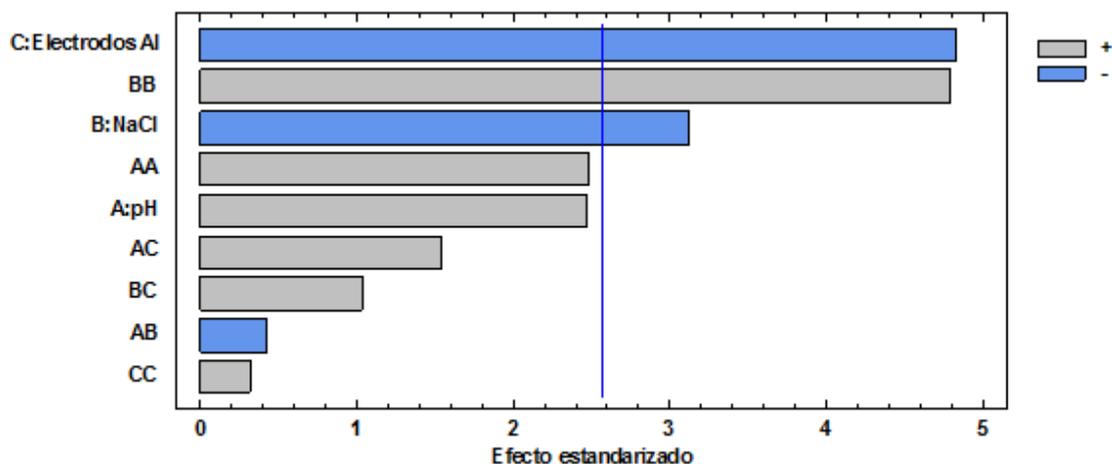
Auto correlación residual de Lag 1 = 0.236103

### Análisis:

La tabla ANOVA particionó la variabilidad de DQO final en piezas separadas para cada uno de los efectos, es decir examina la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0 %. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 93.3498 % de la variabilidad en DQO final. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables, es 81.3794%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 42.0339. El error medio absoluto (MAE) de 19.3 es el valor promedio de los residuos.

**Figura 11.**

*Diagrama de Pareto estandarizado para la DQO final*



**Análisis:**

En la Figura 11 las variables electrodos de aluminio junto a la concentración de cloruro de sodio tuvieron una significancia importante sobre la DQO final, en cambio la variable pH tuvo muy poca participación en el efecto final. La gráfica mostró que ambas variables (electrodos de aluminio y cloruro de sodio) obre pasaron la línea azul, a diferencia del pH, que no intervino significativamente en la electrocoagulación.

**Tabla 8.**

*Coefficiente de regresión para DQO final.*

Coefficiente	Estimado
Constante	3655.28
A:pH	-763.125
B:NaCl	-83.4687
C:Electrodos Al	-39.2731
AA	54.25
AB	-2.25
AC	3.58333
BB	6.54688
BC	0.604167
CC	0.0864198

Fuente: Software estadístico Statgraphics.

A través de la tabla 9 se consiguió la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. Por consiguiente, la ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DQO final} = 3655.28 - 763.125 * \text{pH} - 83.4687 * \text{NaCl} - 39.2731 * \text{Electrodos Al} + 54.25 * \text{pH}^2 - 2.25 * \text{pH} * \text{NaCl} + 3.58333 * \text{pH} * \text{Electrodos Al} + 6.54688 * \text{NaCl}^2 + 0.604167 * \text{NaCl} * \text{Electrodos Al} + 0.0864198 * \text{Electrodos Al}^2.$$

Optimización de la respuesta

**Meta:** Minimizar DQO final

**Valor óptimo** = 385.53 ppm.

**Tabla 9.**

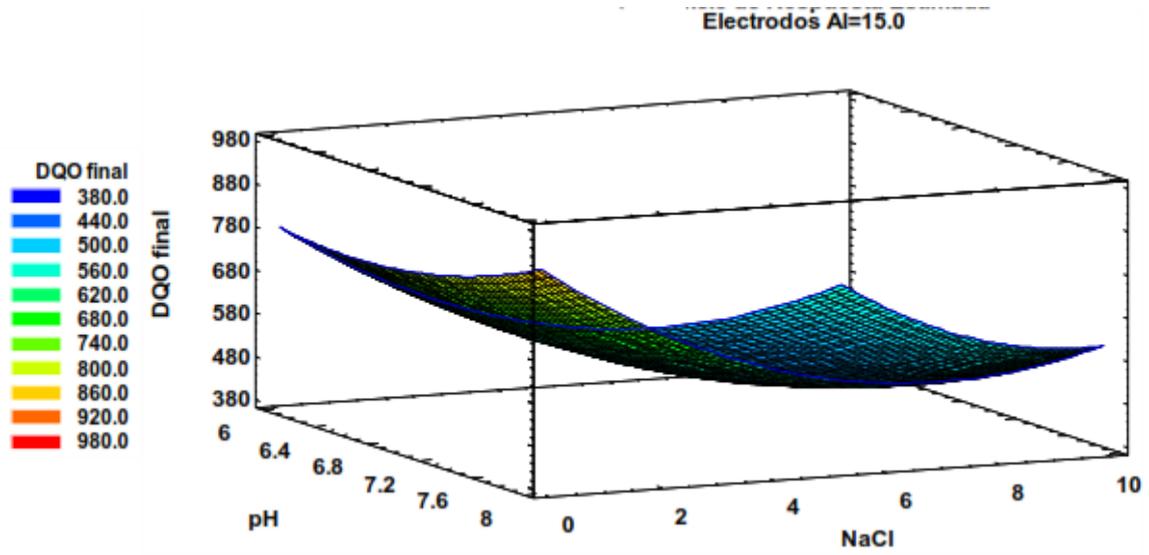
*Valores óptimos de la minimización del DQO final*

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
pH	6.0	8.0	6.37247
NaCl (gr).	2.0	10.0	6.36223
Electrodos Al (cm <sup>2</sup> )	6.0	24.0	24.0

Fuente: Software estadístico Statgraphics.

Figura 12.

*Superficie de respuesta estimada para interacción de tres variables*



#### IV. DISCUSIÓN

Son varias las investigaciones que formularon sus propuestas para mermar el poder contaminante del agua miel de café. Así para el desarrollo de esta experimentación se utilizaron electrodos de aluminio (ánodo y cátodo) con área mínima y máxima de 6, 15 y 24 cm<sup>2</sup> respectivamente, además se utilizó 2, 6 y 10 g NaCl y un pH entre 6, 7 y 8. El piloto operó por 30 minutos para cada celda. El contenido energético fue alimentado por una batería de auto. La DQO inicial del agua miel de café fue de 1670 ppm, después del proceso electroquímico la DQO bajó a un promedio 575 ppm. (removió 1095 ppm, es decir se consiguió una eficiencia de remoción del 65.5 %). Un mejor resultado obtuvo Asha y Manoj (2015a) cuando trataron igualmente aguas residuales de despulpado de café mediante un proceso electroquímico, consiguieron una eficiencia de remoción de la DQO, nitrógeno amoniacal, nitrógeno nitrato y fósforo del 95 %, 90 %, 89 % y 94 %, respectivamente, para ello consumieron 93.87 Amperios/m<sup>2</sup>. Obtuvieron un rendimiento mayor que la presente investigación 95 % versus 65.5 %. Sin embargo, recomendaron implementar un proceso anaeróbico posterior al tratamiento electroquímico para lograr mayores eficiencias de remoción. Kobya et al (2003) sometieron aguas residuales a un proceso electroquímico durante 5-60 minutos. Utilizaron entre 10-150 Amperios/m<sup>2</sup>. y un pH casi neutro, dedujeron sus costos energéticos en 0.1-1.0 euros/m<sup>3</sup>. de agua residual y 0.4-4.0 kWh/m<sup>3</sup>. Esto coincide con los costos utilizados en la actual investigación pues no consumió una sola batería de auto durante todo el funcionamiento del piloto experimental. La figura 25 mostró que el pH no tuvo mayor influencia sobre la eficiencia de remoción.

Supriya et al (2015) sostuvieron que estas aguas mieles residuales tienen un alto poder de contaminación, que inclusive pueden alcanzar una demanda química de oxígeno (DQO) de hasta 50 000 ppm, así mismo producen una acidez de pH por debajo de 4, esta acidez coincidió con los resultados obtenidos en la presente investigación que arrojó en promedio un pH = 3.92; respecto al DQO está en función del grado de concentración o dilución del agua miel; es decir, si se utiliza poca agua para el lavado de café el poder de contaminación puede llegar a altísimos valores. Naturalmente, a

mayor cantidad de agua mayor calidad del lavado del grano de café despulpado. Los resultados de Sahana et al (2018) coinciden con la actual investigación, pues redujo su DQO y el color del agua. Encontró un DQO inicial de 1 984 mg/L, mediante un tratamiento de coagulación electroquímica (proceso electroquímico) utilizaron distintos tipos de aleaciones de acero (utilizó el azufre y el fierro para sus aleaciones) alcanzó 75-87 % de remoción de DQO (a diferencia del 65.5 % en la actual investigación) utilizando 23 Voltios con 120 Amperios/m<sup>2</sup>, distinto a la presente investigación que utilizó 12 voltios provenientes de una batería. Este mayor voltaje y alta densidad de corriente eléctrica obligó utilizar un coadyuvante (cloruro de poli aluminio PAC) a diferentes dosis de 20-100 ppm. No describió el tiempo empleado, sin embargo, una alta densidad de corriente podría elevar la temperatura y reduciendo el tiempo de operación.

La investigación formulada por Asha y Manoj (2015 b) evaluaron el procesamiento del café como parte importante de su actividad agrícola. Trabajaron con café Arábica y Robusta y determinaron características físicas químicas como el rango pH = 3.92-4.99 para agua miel del grano Arábica y un rango pH = 4.56-5.04 para el agua miel de café Robusta. Además, encontraron una contaminación orgánica expresada en la DQO = 8 320-12 840 mg/L para el grano Arábica y 15 360-26 240 mg/L, pero, además, analizó más materia orgánica, es decir encontró nitrógeno amoniacal (20-34 ppm y 44-66 mg/L), nitrógeno nitrato (25-30 mg/L y 32-45 mg/L), fósforo (34-42 mg/L y 45-50 mg/L) para el agua miel arábica y Robusta respectivamente. De forma coincide a la presente investigación pues utilizaron electrodos de aluminio. No describió exactamente la eficiencia de remoción, pero sostuvo que logró bajar los niveles de DQO hasta 618 ppm., lo cual es relevante por su alta contaminación hallada.

Por otra parte, Gutiérrez (2020) utilizó un tratamiento de oxidación combinado (Fotoquímico - Electroquímico) para un agua residual de la industria textil con un DQO inicial de 1 458 mg/L. De forma similar a la presente investigación, su diseño experimental tuvo tres niveles y utilizó Box-Behnken para determinar la superficie de respuesta, el proceso electroquímico fue operado en base a una densidad de corriente: 800-1000 A/m<sup>2</sup>, pH 7-11, de 4-6 g NaCl/L, temperatura 30-42 °C, tiempo de tratamiento 60-180 min y electrodos de Pt-Ti/Ru-Ir. Concluyó que el método de tratamiento combinado arrojó una reducción de la carga orgánica de 97.7 % indicando que es adecuado para el tratamiento de este tipo de aguas residuales agrícolas.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- Se logró construir el piloto experimental para el proceso electrolítico en base de materiales reciclados. Estuvo conformada por 14 celdas electrolíticas, para el funcionamiento se utilizó batería de automóvil, el piloto funciono de manera correcta ya que removió la contaminación orgánica del agua miel de café.
- En los parámetros evaluados en las 13 muestras determinó que el agua miel de café procesada en el piloto experimental arrojó un promedio de  $\text{pH} = 3.92$ , los resultados evidencian un  $\text{pH}$  ácido por lo cual pueden generar efectos negativos al mermar el oxígeno disuelto del agua afectando la flora y fauna acuática. En cambio la DQO inicial fue de 1670 ppm., a diferencia del agua miel testigo que arrojó un DQO igual a 1578 ppm. Mientras que el agua procesada en el piloto experimental arrojó  $\text{DQO} = 575$  ppm., Es decir los electrodos de aluminio y NaCl participaron significativamente en la remoción de DQO.
- El agua residual (agua miel de café) evaluada tienen una composición físico química compleja que evidencia la necesidad de implementación de sistemas de tratamiento de estas. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), indicador de la presencia de carga orgánica, con el diseño óptimo Box– Behnken mostró una marcada de remoción óptima de 76.8 % por a ver eliminado  $\text{DQO} = 1282$  ppm. y con la aplicación del Software estadístico Statgraphics se podría alcanzar una remoción de 385.53ppm. con los materiales empleados óptimamente se podría alcanzar una eliminación de  $(1670 - 385.53 = 1284.47)$  ppm). Este hecho reflejo un buen rendimiento de ionización al interior de la celda permitieron tener una alta eliminación de la DQO con la condiciones empleadas. Es decir, si se cambian o mejoran los materiales utilizados es posible incrementar más la eficiencia de remoción.

**Recomendaciones:**

- Incorporar nuevas variables para el proceso electroquímico, con la finalidad de mejorar la remoción de materia orgánica (DQO), como la densidad de corriente eléctrica, el uso de nuevos metales como el fierro, el cobre, entre otros. Inclusive se podría contemplar el incremento del voltaje de la corriente continua al interior de la celda electroquímica.
- Reforzar el tratamiento electroquímico con un tratamiento posterior como la fermentación anaeróbica, con la finalidad de garantizar la eliminación de la materia orgánica disuelta en el agua miel de café.
- Recomendar a la Universidad Nacional de Jaén, apoyar con materiales, equipos y profesores investigadores con la finalidad de promover la proyección social desde la Universidad a la sociedad Jaena.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves da Costa, J., de Souza, J. P., Teixeira, A. P., Nabout, J. C. y Carneiro, F. M. (2018). Eutrophication in aquatic ecosystems: a scientometric study. *Review article Acta Limnologica Brasiliensia, Vol. 30, e2.*
- Asha, G. and Manoj Kumar, B. (2015 a). Coffee pulping wastewater treatment by electrochemical treatment followed anaerobic sequencing batch reactor. *International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 7, July-2015.*
- Asha, G. and B. Manoj Kumar B. (2015 b). Evaluation of the electrochemical process for coffee treatment Wastewater processing with aluminum electrodes. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology Volume 9, Issue 9 Ver. II (Sep. 2015), pp 74-82.*
- Baird, R. B., Eaton, A.D. & Rice, E. W. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23 Rd. Edition. Prepared and published jointly by: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).  
<https://dokumen.pub/qdownload/standard-methods-for-the-examination-of-water-and-wastewater-23th-23thnbsped-9780875532875.html>
- Domínguez, J. y Castaño, E. (2010). Diseño de experimentos. Estrategias y análisis en ciencias e ingeniería. Editorial Alfa omega. ISBN: 978-607-7740-56-8.  
Universidad Autónoma de Querétaro, México.  
<https://docplayer.es/224927653-Diseno-de-experimentos-estrategias-y-analisis-en-ciencias-e-ingenierias.html>
- GC (2022). Government of Canadá. Environment and natural resources.  
<https://www.canada.ca/en/services/environment.html>.
- Gutiérrez, C. (2020). *Depuración fotoquímica- electroquímica de compuestos orgánicos persistentes en agua residual sintética de la industria textil Puente Piedra-Lima*. [Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en

Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica].  
Lima, Perú.  
[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15483/Gutierrez\\_cc.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15483/Gutierrez_cc.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Koby, M., Can, O. T. y Bayramoglu, M. (2003). Tratamiento de aguas residuales textiles por electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio. *Revista Química verde y sostenible*. Vol. 3 No. 2. 27 de mayo de 2013, págs. 163-178. doi: 10.1016 / S0304-3894 (03) 00102-X.

MINAGRI (2020). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

MINAM (2010). Ministerio del Ambiente. Perú.

Patwardhan, A.D. (2008). Water treatment industrial waste. New Delhi-110001.  
ISBN-978-81-203-3350-5.

Sahana, M., Srikantha, H., Mahesh, S. y Mahadeva Swamy, M. (2018). Tratamiento de aguas residuales industriales de procesamiento de café mediante coagulación electroquímica discontinua con electrodos de acero inoxidable y Fe y sus combinaciones, y recuperación y reutilización de lodos. *Revista Tecnología de ciencia del agua*. Agosto de 2018; 78 (1-2): 279-289. doi: 10.2166 / wst.2018.297.

Savall, A. (1995). Electrochemical Treatment of Industrial Organic Effluents. *Chimia International J. for Chem.*, vol. 49, Jan/feb, pp. 23-27, publisher: Swiss chemical society, 1995.

Supriya, R., Parande, A. K., Nagaraju, V. D., y Ghiwari, G. K. (2015). Una revisión integral sobre la utilización de las aguas residuales del procesamiento del café. *Revista investigación en ciencias ambientales y contaminación*. Volumen 22, páginas 6461–6472.

Ward, A., Hobbs, P., Holliman, P. y Jones, D. (2008). Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresour. Technol.*, N° 99: 7928-7940, 2008.

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida y la oportunidad de tener una familia que me brinda su apoyo incondicional, a mis padres que fueron y son mi mayor inspiración quienes siempre me motivaron a superarme y luchar para cumplir mis objetivos, a mis hermanos gracias por su apoyo y darme siempre esos consejos que me nutren y me hacen crecer como persona y a todas aquellas personas que formaron parte de mi vida y que de una u otra manera han sido parte de esta etapa de mi vida.

**Berselli Mera Garcia**

A Dios por todas sus bendiciones y darme fuerza para llegar a este momento importante de mi formación como profesional.

A mis padres Rober Rosales López y Virginia Dávila Vivanco, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, ha sido el orgullo y privilegio de ser su hija. A mis hermanos(as) por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

**Tatiana Milagros Rosales Dávila**

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer a Dios por aarnos otorgado fuerza y fortuna para iniciar y concluir esta etapa de nuestra vida que se inicia en una nueva fase.

Así mismo queremos llegar nuestro agradecimiento a toda la plana docente y administrativa de la prestigiosa Universidad Nacional de Jaén, en especial a nuestro asesor Dr. Segundo Sánchez Tello, por aarnos orientado para el desarrollo adecuado de la presente investigación, finalmente agradecemos a nuestros familiares y amigos que nos brindaron su apoyo incondicional y económico para lograr alcanzar uno de nuestros objetivos más grandes como profesionales.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Resultados del análisis del promedio de pH y DQO de Agua miel cruda



**RIVELAB - S.A.C.**  
LABORATORIO DE ENSAYOS



### INFORME DE ENSAYO N°1096-2022 RIVELAB

**Emitido en Trujillo, el 08 de julio de 2022**

Orden de servicio : 010722AC  
Solicitante : **Berselli Mera G.  
Milagros Rosales D.**  
Ensayo solicitado : Físico Químico  
Muestra : Agua miel café cruda  
Codigo de muestra : **AM-01**  
Descripción de muestra / envase : frasco de 2.5 L. de plástico con tapa rosca  
Lugar de procedencia de muestra : Jaén  
Fecha de inicio de ensayos : 01.07.2022  
Fecha de término de ensayos : 07.07.2022

\* La muestra fue proporcionada por el solicitante

#### ENSAYOS FQ

ENSAYOS	UNIDADES	REALIZADAS	AM-01
pH	valor de pH	en laboratorio	3.81
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	en laboratorio	1670

**MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS:**  
pH: SMOVA-APHA-AWWA-WEF Part 4500 H<sub>+</sub> 22nd Ed. DQO: NTP 340.501.2018

  
Dr. JOSE RÍVERO CORCUERA  
Ingeniero Químico  
R. CIP. 130519



AGUA

SUELOS

ALIMENTOS

\* Av. Bobadilla N° 524 – Urb. Monserrate

rivelabperu@hotmail.com

Página 1 de 1 163 730

Este documento y la información contenida en él es confidencial y propiedad de LABORATORIO RIVERO SAC – RIVELAB SAC. No debe ser distribuido sin autorización. Col: 938 240 834  
queda prohibida su modificación, reproducción parcial y/o total.



ANEXO 3: Obtención del agua miel de café por estrujado del grano de café



ANEXO 4: Toma de muestra de agua miel de café.



ANEXO 5: Descarga de agua miel ingresa al cauce de la quebrada La Unión.



ANEXO 6: Ajustes y conexión de los electrodos de aluminio.



ANEXO 7: Construcción de celdas electrolíticas



ANEXO 8: Adaptación de botellas para resguardo de muestras procesadas



ANEXO 9: Pesado del cloruro de sodio



ANEXO 10: Medida in situ del pH ácido del agua miel de café



ANEXO 11: Reactivos para conseguir el pH de trabajo

