



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**EFICIENCIA DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN ENTRE
ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE Y ELECTRODOS DE ALUMINIO
PARA LA REDUCCIÓN DE DQO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL
MUNICIPAL DE K'AYRA, CUSCO – 2022**

Línea de Investigación: Tecnologías Limpias y Remediación

Presentado por los Bachilleres:

Bach. Gonzalo Guillen Ttito

Bach. Juan Brayan Sánchez Viguria

**Para Optar el Título Profesional de Ingeniero
Ambiental**

Asesor(a):

Mg. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Co asesor:

Ing. Dante Vargas Rodríguez

CUSCO - PERÚ

2023



METADATOS

| Datos del Autor | |
|--------------------------------------|---|
| Nombres y Apellidos | GONZALO GUILLEN TTITO |
| | JUAN BRAYAN SÁNCHEZ VIGURIA |
| Número de Documento de Identidad | 72029761 |
| | 70662778 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0009-0001-2842-8418 |
| | https://orcid.org/0009-0001-3100-5109 |
| Datos del Asesor | |
| Nombres y Apellidos | MGT. ING. LUZ GUISELL AEDO |
| | VEGA CENTENO |
| Número de Documento de Identidad | 40701822 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0002-1438-7651 |
| Datos del Co Asesor | |
| Nombres y Apellidos | ING. DANTE VARGAS RODRÍGUEZ |
| Número de Documento de Identidad | 23903816 |
| URL de ORCID | - |
| Datos del Jurado | |
| Presidente del Jurado (Jurado 1) | |
| Nombres y Apellidos | DR. FELIO CALDERÓN LA TORRE |
| Número de Documento de Identidad | 25310696 |
| Jurado 2 | |
| Nombres y Apellidos | DR. ANTONIO RAMIRO JESÚS BUENO LAZO |
| Número de Documento de Identidad | 23878046 |
| Jurado 3 | |
| Nombres y Apellidos | MGT. ING. ELIANA MÓNICA VARGAS BELLOTA |
| Número de Documento de Identidad | 23967096 |
| Jurado 4 | |
| Nombres y Apellidos | MGT. ING. KAREN MELISSA GARCES PORRAS |
| Número de Documento de Identidad | 47025143 |
| Datos de la Investigación | |
| Línea de Investigación de la Escuela | TECNOLOGÍAS LIMPIAS Y REMEDIACIÓN |



EFICIENCIA DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN ENTRE ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE Y ELECTRODOS DE ALUMINIO PARA LA REDUCCIÓN DE DQO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE K'AYRA,

Submission date: 16-May-2024 12:49PM (UTC-0500)

Submission ID: 2381205121

File name: Tesis_-_Electrocoagulacio_n_V3.pdf (12.58M)

Word count: 29064

Character count: 161597

CUSCO – 2022
by JUAN BRAYAN SANCHEZ VIGURIA



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**EFICIENCIA DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN ENTRE
ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE Y ELECTRODOS DE ALUMINIO
PARA LA REDUCCIÓN DE DQO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL
MUNICIPAL DE K'AYRA, CUSCO – 2022**

Línea de Investigación: Tecnologías Limpias y Remedación

Presentado por los Bachilleres:

Bach. Gonzalo Guillen Ttito

Bach. Juan Brayan Sánchez Viguria

**Para Optar el Título Profesional de Ingeniero
Ambiental**

Asesor(a):

Mg. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Co asesor:

Ing. Dante Vargas Rodríguez

CUSCO - PERÚ

2023



ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE Y ELECTRODOS DE ALUMINIO PARA LA REDUCCIÓN DE DQO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE K'AYRA, CUSCO – 2022

ORIGINALITY REPORT

13%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

6%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

| | | |
|---|--|----|
| 1 | hdl.handle.net Internet Source | 5% |
| 2 | www.uandina.edu.pe Internet Source | 2% |
| 3 | repositorio.unsaac.edu.pe Internet Source | 2% |
| 4 | repositorio.uandina.edu.pe Internet Source | 1% |
| 5 | repositorio.unh.edu.pe Internet Source | 1% |
| 6 | repositorio.usanpedro.edu.pe Internet Source | 1% |
| 7 | dspace.unitru.edu.pe Internet Source | 1% |
| 8 | repository.uamerica.edu.co | |

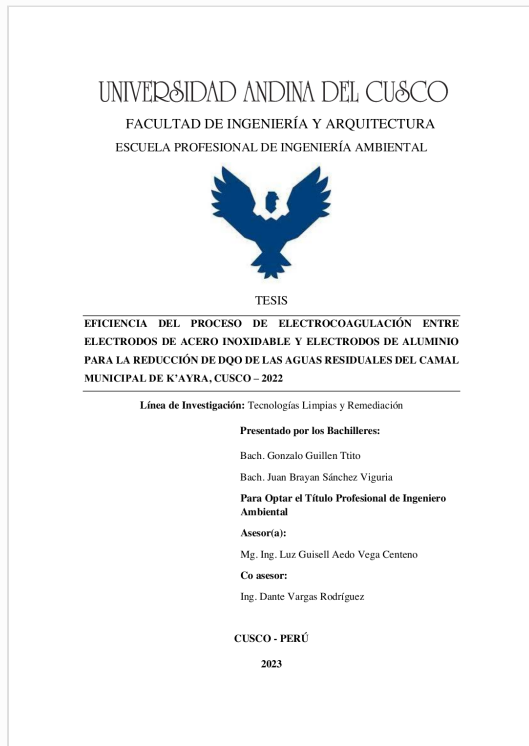


Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: JUAN BRAYAN SANCHEZ VIGURIA
Assignment title: Tesis Electrocoagulación V3
Submission title: EFICIENCIA DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN ENTR...
File name: Tesis_-_Electrocoagulacio_n_V3.pdf
File size: 12.58M
Page count: 163
Word count: 29,064
Character count: 161,597
Submission date: 16-May-2024 12:49PM (UTC-0500)
Submission ID: 2381205121





AGRADECIMIENTOS

A Dios, por habernos permitido realizar el trabajo de investigación y ayudarnos en todo momento.

A la Universidad Andina del Cusco y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por brindarnos los conocimientos necesarios en nuestra formación como Ingenieros Ambientales.

A nuestra asesora Mg. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno, por guiarnos y darnos consejo en el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

A nuestro co asesor Ing. Dante Vargas Rodríguez, por brindarnos su apoyo y conocimientos para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación. Por permitarnos hacer uso de su taller, donde pudimos realizar la construcción de la celda de electrocoagulación y sistemas de electrodos.

A Ing. Annie Miluska Aguilar López, por apoyarnos y facilitarnos el uso del laboratorio de Ingeniería Ambiental, donde realizamos las pruebas preliminares y experimentaciones correspondientes.

Al Camal Municipal de K'ayra, por facilitarnos el acceso a sus instalaciones y proporcionarnos una visita técnica donde pudimos apreciar a detalle cada uno de los procesos.

A nuestros amigos y compañeros de la Universidad con quienes compartimos gratos momentos.



DEDICATORIA

A mis abuelitos, que con mucho cariño y su inmenso amor me cuidaron en mi niñez, son mi inspiración para seguir adelante, por enseñarme muchos valores, a no rendirme y siempre seguir adelante.

A mis padres, Juan Sánchez y Carmen Viguria, por su inmenso amor y comprensión. Ustedes son un claro ejemplo de superación, a pesar de las dificultades siempre lograron salir adelante, gracias por siempre apoyarme a cumplir mis sueños y siempre guiarme en el camino de bien, me siento orgulloso por tenerlos.

A mi hermano Hans Cristian Sánchez Viguria, por sus consejos y motivación, por ser un claro ejemplo de superación día a día, mostrando que siempre hay que soñar alto y no conformarse jamás.

A toda mi familia, que siempre me apoyaron con sus palabras de aliento, consejos y su cariño. A mis amigos de la universidad y de la vida, por su apoyo y por los momentos inolvidables que pasamos juntos.

Con cariño, Juan

A mis padres Asisclo Guillen y Valeria Ttito, por apoyarme en todo momento con su cariño incondicional, además de darme consejo en los momentos más difíciles que pude afrontar en el transcurso de mi vida universitaria.

A mi enamorada K. Lisbeth, por ser aquella persona que no pensé encontrar, aquella casualidad que cada día me demuestra su inmenso cariño y me impulsa a seguir adelante.

A mi mascota Diona, por sacarme una sonrisa en los momentos que más necesite.

A mis amigos David Córdova, Daniel Espinoza y Jorge Peláez; por ser mis amigos fraternales y compartir buenos momentos desde el colegio.

Con cariño, Gonzalo



A Mg. Ing. Miguel Humberto Arapa Davalos, por aportar su conocimiento y experiencia en nuestro trabajo de investigación, ayudándonos a mejorar e innovar el enfoque de la presente tesis.

Por haber sido un gran docente en la constante búsqueda de la excelencia académica, además de una inspiración para todos aquellos que tuvimos la fortuna de conocerlo.

Y aunque sabemos que el tiempo compartido fue breve, siempre recordaremos aquellas palabras sabias que nos motivaron e impulsaron a alcanzar nuestras metas

Descanse en paz, querido Ingeniero Miguel; sus enseñanzas continuaran guiando nuestros pasos mientras avanzamos en nuestro propio camino.

Con mucho aprecio, Juan y Gonzalo



ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| AGRADECIMIENTOS | 1 |
| DEDICATORIA | 2 |
| RESUMEN | 12 |
| ABSTRACT | 13 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 14 |
| 1.1. Planteamiento del Problema | 14 |
| 1.2. Formulación de Problema | 15 |
| 1.2.1. Problema General | 15 |
| 1.2.2. Problemas Específicos | 15 |
| 1.3. Justificación | 16 |
| 1.3.1. Conveniencia | 16 |
| 1.3.2. Relevancia Social | 16 |
| 1.3.3. Implicancia Práctica | 16 |
| 1.3.4. Valor Teórico..... | 17 |
| 1.3.5. Utilidad Metodológica..... | 17 |
| 1.4. Objetivos de la Investigación | 17 |
| 1.4.1. Objetivo General..... | 17 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 18 |
| 1.5. Delimitación del Estudio | 18 |
| 1.5.1. Delimitación Espacial..... | 18 |
| 1.5.2. Delimitación Temporal..... | 19 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 20 |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación | 20 |
| 2.1.1. Antecedentes Internacionales | 20 |
| 2.1.2. Antecedentes Nacionales | 21 |
| 2.1.3. Antecedentes Locales | 23 |
| 2.2. Bases Teóricas | 24 |
| 2.2.1. Electroquímica..... | 24 |
| 2.2.1.1. Electrodo | 24 |



| | | |
|-------------|---|-----------|
| 2.2.1.2. | Ánodo | 24 |
| 2.2.1.3. | Cátodo | 25 |
| 2.2.1.4. | Tensión Eléctrica (V) | 25 |
| 2.2.1.5. | Corriente | 25 |
| 2.2.1.6. | Fuerza Electromotriz | 26 |
| 2.2.1.7. | Densidad de Corriente | 26 |
| 2.2.2. | Electrocoagulación | 26 |
| 2.2.2.1. | Aplicaciones | 27 |
| 2.2.2.2. | Diseño del Reactor | 27 |
| 2.2.2.3. | Proceso de Electrocoagulación..... | 28 |
| 2.2.2.4. | Factores que Afectan la Electrocoagulación | 29 |
| 2.2.2.5. | Reacciones en los Electroodos | 29 |
| 2.2.2.6. | Leyes de Faraday..... | 31 |
| 2.2.2.7. | Ventajas..... | 31 |
| 2.2.2.8. | Desventajas..... | 32 |
| 2.2.3. | Aguas Residuales..... | 32 |
| 2.2.3.1. | Clasificación..... | 32 |
| 2.2.3.2. | Parámetros Fisicoquímicos y Biológicos | 33 |
| 2.2.3.3. | Características Físicas de las Aguas Residuales | 33 |
| 2.2.3.4. | Características Químicas | 34 |
| 2.2.3.5. | Características Biológicas | 37 |
| 2.2.4. | Aguas Residuales de Camales | 37 |
| 2.2.4.1. | Características de las Aguas Residuales de Matadero | 38 |
| 2.2.5. | Camal Municipal de K'ayra | 39 |
| 2.2.5.1. | Caracterización de las Aguas Residuales | 40 |
| 2.2.5.2. | Capacidad de Producción | 40 |
| 2.2.5.3. | Diagrama de Bloques del Proceso de Faenado Vacuno | 41 |
| 2.3. | Definición de Términos | 41 |
| 2.4. | Hipótesis..... | 43 |
| 2.4.1. | Hipótesis General | 43 |
| 2.4.2. | Hipótesis Específicas | 43 |
| 2.5. | Variables e Indicadores | 44 |
| 2.5.1. | Identificación de Variables | 44 |



| | |
|---|------------|
| 2.5.2. Operacionalización de Variables | 45 |
| CAPÍTULO III: MÉTODO..... | 46 |
| 3.1. Alcance del Estudio..... | 46 |
| 3.2. Diseño de Investigación | 46 |
| 3.2.1. Descripción del Diseño Experimental | 46 |
| 3.3. Población..... | 48 |
| 3.4. Muestra | 48 |
| 3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos..... | 48 |
| 3.5.1. Técnicas de Recolección de Datos | 48 |
| 3.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos..... | 48 |
| 3.5.3. Procedimiento Experimental | 49 |
| 3.5.3.1. Construcción de la Celda de Electrocoagulación y Sistemas de Electrodos | 49 |
| 3.5.3.2. Pruebas de Funcionamiento y Pruebas Preliminares..... | 56 |
| 3.5.3.3. Método de Muestreo..... | 58 |
| 3.5.3.4. Proceso de tratamiento: Electrocoagulación | 62 |
| 3.6. Validez y Confiabilidad de Instrumentos | 68 |
| 3.7. Plan de Análisis de Datos | 68 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN | 70 |
| 4.1. Resultados Exploratorios | 70 |
| 4.1.1. Parámetros In Situ | 70 |
| 4.1.2. Cálculo de Alícuotas..... | 70 |
| 4.1.3. Pruebas Preliminares | 72 |
| 4.2. Resultados respecto a los Objetivos Específicos..... | 73 |
| Análisis Estadístico en Minitab 18 | 101 |
| a. Prueba de Normalidad | 101 |
| b. Prueba de Levene..... | 102 |
| c. Análisis de Varianza (ANOVA)..... | 103 |
| d. Diagrama de Pareto..... | 104 |
| e. Gráfica de Efectos Principales | 104 |



| | |
|---|------------|
| f. Gráfica de Interacción..... | 105 |
| 4.3. Resultados respecto al objetivo General..... | 106 |
| <i>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN</i> | 110 |
| 5.1. Descripción de los Hallazgos más Relevantes y Significativos..... | 110 |
| 5.2. Limitaciones del Estudio | 112 |
| 5.3. Comparación Crítica con la Literatura Existente | 112 |
| 5.3.1. Internacional | 112 |
| 5.3.2. Nacional..... | 114 |
| 5.3.3. Local | 114 |
| 5.4. Implicancias del Estudio | 116 |
| C. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 117 |
| CONCLUSIONES | 117 |
| RECOMENDACIONES | 118 |
| D. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 119 |
| E. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 127 |
| F. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS | 133 |
| G. ANEXOS..... | 134 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1: Resultados de Laboratorio EPS Seda Cusco | 40 |
| Tabla 2: Matriz de operacionalización de la Variable Independiente | 45 |
| Tabla 3: Matriz de operacionalización de la Variable Dependiente..... | 45 |
| Tabla 4: Diseño factorial | 47 |
| Tabla 5: Combinaciones de la experimentación..... | 47 |
| Tabla 6: Coordenadas de ubicación del punto de monitoreo..... | 59 |
| Tabla 7: Plan de análisis de datos..... | 69 |
| Tabla 8: Parámetros in situ | 70 |
| Tabla 9: Cálculo de volumen de cada alícuota – Primer día | 70 |
| Tabla 10: Cálculo de volumen de cada alícuota – Segundo día | 71 |
| Tabla 11: Cálculo de volumen de cada alícuota – Tercer día..... | 72 |
| Tabla 12: Resultados de las pruebas preliminares..... | 72 |
| Tabla 13: Concentraciones iniciales de DQO | 73 |
| Tabla 14: Resultados de reducción de DQO post tratamiento – Primer día..... | 77 |
| Tabla 15: Resultados de incremento de Temperatura post tratamiento – Primer día..... | 79 |
| Tabla 16: Resultados de incremento de pH post tratamiento – Primer día | 81 |
| Tabla 17: Resultados de reducción de Turbidez post tratamiento – Primer día | 83 |
| Tabla 18: Resultados de reducción de DQO post tratamiento – Segundo día..... | 85 |
| Tabla 19: Resultados de incremento de Temperatura post tratamiento – Segundo día.. | 87 |
| Tabla 20: Resultados de incremento de pH post tratamiento – Segundo día | 89 |
| Tabla 21: Resultados de reducción de Turbidez post tratamiento – Segundo día..... | 91 |
| Tabla 22: Resultados de reducción de DQO post tratamiento – Tercer día | 93 |
| Tabla 23: Resultados de incremento de Temperatura post tratamiento – Tercer día | 95 |
| Tabla 24: Resultados de incremento de pH post tratamiento – Tercer día..... | 97 |
| Tabla 25: Resultados de reducción de Turbidez post tratamiento – Tercer día | 99 |
| Tabla 26: Prueba de Levene | 102 |
| Tabla 27: Análisis de Varianza (ANOVA)..... | 103 |
| Tabla 28: Prueba U de Mann-Whitney..... | 109 |
| Tabla 29: Validación de instrumentos | 133 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Ubicación geográfica del Departamento de Cusco | 18 |
| Figura 2: Ubicación geográfica de la Provincia del Cusco | 19 |
| Figura 3: Ubicación geográfica del Camal Municipal de K'ayra..... | 19 |
| Figura 4: Reactor con electrodos monopolares conectados en paralelo..... | 28 |
| Figura 5: Reactor con electrodos monopolares conectados en serie | 28 |
| Figura 6: Celda de electrocoagulación de dos electrodos..... | 30 |
| Figura 7: Ciclo de manejo de las aguas residuales municipales..... | 33 |
| Figura 8: Diseño de la celda de electrocoagulación - AutoCAD | 50 |
| Figura 9: Corte y doblado de acrílico | 51 |
| Figura 10: Medición y cortado de la celda de electrocoagulación | 51 |
| Figura 11: Celda de electrocoagulación terminada | 52 |
| Figura 12: Cortado de placas de acero inoxidable..... | 53 |
| Figura 13: Laminado de olla de aluminio..... | 54 |
| Figura 14: Cortado de placas de aluminio | 54 |
| Figura 15: Cortado final de placas..... | 55 |
| Figura 16: Cortado de soportes..... | 55 |
| Figura 17: Sistemas de electrodos | 56 |
| Figura 18: Prueba de funcionamiento de la celda de electrocoagulación..... | 56 |
| Figura 19: Prueba preliminar con agua con tierra orgánica..... | 57 |
| Figura 20: Prueba preliminar con agua residual del Camal de Calca..... | 57 |
| Figura 21: Prueba preliminar con agua residual del Camal de K'ayra..... | 58 |
| Figura 22: Ubicación del punto de monitoreo | 59 |
| Figura 23: Homogeneización de muestra compuesta | 61 |
| Figura 24: Medición de parámetros in situ | 61 |
| Figura 25: Llenado y rotulado de muestras para laboratorio..... | 62 |
| Figura 26: Área de trabajo | 63 |
| Figura 27: Registro de datos antes de la experimentación | 64 |
| Figura 28: Llenado de celda e inicio de la experimentación | 64 |
| Figura 29: Remoción de espumas..... | 65 |
| Figura 30: Extracción de muestra tratada | 65 |
| Figura 31: Medición de temperatura después del tratamiento..... | 66 |



| | |
|--|-----|
| Figura 32: Medición del pH después del tratamiento..... | 66 |
| Figura 33: Medición de la turbidez después del tratamiento..... | 66 |
| Figura 34: Lavado y configuración del sistema de electrodos | 67 |
| Figura 35: Llenado y rotulado de muestras | 67 |
| Figura 36: Llenado de cadena de custodia y transporte de muestras..... | 68 |
| Figura 37: Concentraciones iniciales de DQO | 74 |
| Figura 38: Determinación del volumen | 75 |
| Figura 39: Transformador de corriente 0 - 5 amperios..... | 76 |
| Figura 40: Resultados del porcentaje de reducción de DQO – Primer día..... | 78 |
| Figura 41: Resultados del porcentaje de incremento de Temperatura – Primer día..... | 80 |
| Figura 42: Resultados del porcentaje de incremento de pH – Primer día | 82 |
| Figura 43: Resultados del porcentaje de reducción de Turbidez – Primer día | 84 |
| Figura 44: Resultados del porcentaje de reducción de DQO – Segundo día..... | 86 |
| Figura 45: Resultados del porcentaje de incremento de Temperatura – Segundo día.... | 88 |
| Figura 46: Resultados del porcentaje de incremento de pH – Segundo día | 90 |
| Figura 47: Resultados del porcentaje de reducción de Turbidez – Segundo día..... | 92 |
| Figura 48: Resultados del porcentaje de reducción de DQO – Tercer día | 94 |
| Figura 49: Resultados del porcentaje de incremento de Temperatura – Tercer día | 96 |
| Figura 50: Resultados del porcentaje de incremento de pH – Tercer día..... | 98 |
| Figura 51: Resultados del porcentaje de reducción de Turbidez – Tercer día | 100 |
| Figura 52: Prueba de Normalidad de Anderson-Darling..... | 101 |
| Figura 53: Diagrama de Pareto..... | 104 |
| Figura 54: Gráfica de Efectos Principales | 104 |
| Figura 55: Gráfica de Interacción..... | 105 |
| Figura 56: Comparación de los sistemas de electrodos en el porcentaje de reducción de DQO – Primer día..... | 107 |
| Figura 57: Comparación de los sistemas de electrodos el porcentaje de reducción de DQO – Segundo día..... | 107 |
| Figura 58: Comparación de los sistemas de electrodos en el porcentaje de reducción de DQO – Tercer día | 108 |
| Figura 62: Registro de Datos de Campo – ANA..... | 127 |
| Figura 63: Etiquetas para Muestra de Agua – ANA..... | 128 |
| Figura 64: Cadena de Custodia – ANA..... | 129 |
| Figura 65: Registro de Identificación del Punto de Monitoreo – ANA..... | 130 |



| | |
|--|-----|
| Figura 66: Volumen de Alícuota - Muestra compuesta..... | 131 |
| Figura 67: Ficha de Laboratorio | 132 |
| Figura 65: Visita al Camal M. de K'ayra | 151 |
| Figura 66: Área de sangrado..... | 151 |
| Figura 67: Área de lavado de vísceras | 152 |
| Figura 68: Área de corte dorsal | 152 |
| Figura 69: Canales de evacuación de aguas residuales | 152 |



RESUMEN

El objetivo general del presente trabajo de investigación fue comparar la eficiencia del proceso de electrocoagulación mediante el uso de electrodos de acero inoxidable en comparación a los electrodos de aluminio para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra, las cuales presentan una elevada concentración de DQO (> 2000 mg/L). Para ello, se consideró como factores el tiempo de tratamiento (30 y 60 minutos), la cantidad de electrodos (5 y 11 placas) y el material del electrodo (acero inoxidable y aluminio). Al realizar la medición de la concentración inicial de las aguas residuales, se encontró un valor de DQO igual a 3897.60 mg/L el primer día, 2246.40 mg/L el segundo día y 3836.80 mg/L el tercer día. Al comparar estos resultados con los LMP de vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA), se evidencio que los valores sobrepasan lo exigido por la norma (900 mg/L de DQO). Se definieron las condiciones óptimas de operación para la construcción de la celda de electrocoagulación y los sistemas de electrodos, para lo cual se realizaron diversas pruebas preliminares donde se evaluó un volumen de agua residual entre 1 y 2 litros y un amperaje de 5 a 10 amperios. Es así que se optó por trabajar con un volumen de agua residual de 2 litros y un amperaje de 5 amperios para cada experimento. Posterior al proceso de electrocoagulación, la concentración final para el sistema de electrodos con acero inoxidable tuvo una reducción máxima del 88.74% de DQO; mientras que el sistema de electrodos con aluminio tuvo una reducción máxima de 81.57% de DQO; cumpliendo con los LMP de vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA). Concluyendo así, que el sistema de electrodos con acero inoxidable es mejor en comparación al sistema de electrodos con aluminio, ya que el promedio del porcentaje de reducción de DQO para acero inoxidable es mayor al aluminio según la prueba no paramétrica U de Mann Whitney.

Palabras clave: comparación, camal, aguas residuales, electrocoagulación, reducción, DQO.



ABSTRACT

The overall objective of this research was to compare the efficiency of the electrocoagulation process using stainless steel electrodes to aluminum electrodes for COD reduction in the wastewater from the Municipal Slaughterhouse of K'ayra, which exhibits a high COD concentration (> 2000 mg/L). Factors considered included treatment time (30 and 60 minutes), the number of electrodes (5 and 11 plates), and electrode material (stainless steel and aluminum). Upon measuring the initial concentration of wastewater, COD values were found to be 3897.60 mg/L on the first day, 2246.40 mg/L on the second day, and 3836.80 mg/L on the third day. Comparing these results with the Discharge Limits for point source wastewater from livestock production activities (RESOLUTION N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA), it was evident that the values exceeded the norm (900 mg/L COD). Optimal operating conditions for the construction of the electrocoagulation cell and electrode systems were defined through various preliminary tests, evaluating a wastewater volume between 1 and 2 liters and an amperage of 5 to 10 amps. It was decided to work with a wastewater volume of 2 liters and an amperage of 5 amps for each experiment. After the electrocoagulation process, the final concentration for the system with stainless steel electrodes achieved a maximum reduction of 88.74% in COD, while the system with aluminum electrodes had a maximum reduction of 81.57% in COD, complying with the Discharge Limits for point source wastewater from livestock production activities (RESOLUTION N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA). In conclusion, the stainless-steel electrode system is superior to the aluminum electrode system, as the average percentage reduction in COD for stainless steel is higher than aluminum according to the non-parametric Mann-Whitney U test.

Keywords: comparison, slaughterhouse, wastewater, electrocoagulation, reduction, COD.



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Alrededor del mundo, los ríos, lagos, canales y otros cuerpos de agua son contaminados por descargas industriales, actividad antropogénica o procesos naturales. Tanto en los países en vías de desarrollo como en países desarrollados, sus desechos industriales y la gran cantidad de residuos peligrosos que estos producen son vertidos directamente a los cuerpos de agua sin realizar ningún tratamiento previo, contaminando así el recurso hídrico, deteriorando el ecosistema acuático presente en los cuerpos de agua. Es por ello que, la protección y la conservación del agua deben ser preocupaciones de primer orden en nuestra sociedad (Arango, 2013).

A nivel global, el tratamiento de un efluente industrial resultante del proceso productivo de faenamiento de bovinos, ya sea a mediana o gran escala, es un problema que aún no tiene una solución definitiva debido a que los costos de implementación y operación de sistemas para tratar estas aguas residuales son muy elevadas (López y Casp, 2004), ocasionando que las industrias se vean en la necesidad de evacuar su efluente sin ningún tratamiento directamente al alcantarillado, teniendo en su composición sangre, estiércol, pelos, grasas, huesos, proteínas y otros contaminantes solubles (Rivera, 2010), generando un gran impacto debido a la elevada concentración de carga orgánica.

El 70% de las aguas residuales de la región latinoamericana incluyendo vertimientos de canales no son tratadas, el agua es extraída, usada y devuelta completamente contaminada a los ríos (Niquén et al., 2013), en el caso de Perú, solo se invirtió un 30% para el tratamiento de aguas residuales, esto según el plan nacional de saneamiento rural y urbano (INEI, 2021).

En Perú existen 96 canales registrados en el Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA de los cuales solo se les ha otorgado la licencia de funcionamiento a 89 establecimientos de beneficio de canales desde el año 2014 al 2021 (SENASA, 2022) según lo establecido en el Decreto Supremo N° 015-2012-AG. El Canal Municipal de K'ayra se encuentra dentro los 7 canales que no cuentan con una licencia de funcionamiento por parte del SENASA, debido a que en este canal no cumple con los requerimientos estipulados en el DS N° 015-2012-AG.



Actualmente, el Camal Municipal de K'ayra vierte sus residuos líquidos directamente a las aguas del río Huatanay, debido a que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de San Jerónimo no permite el ingreso de efluentes con una alta concentración de contaminantes como: materia orgánica (DBO₅ y DQO), sólidos suspendidos (SS), grasas, nitrógeno (N) y fósforo (P) (Huamán y Rodríguez, 2021); los cuales generan efectos negativos puesto que el río Huatanay está clasificado como categoría 3 “Riego de vegetales y bebidas de animales”; con ello se afirma que el Camal Municipal de K'ayra, llega a ser un foco de contaminación y proliferación de enfermedades generando perjuicios al ecosistema, degradando el medio ambiente y afectando a la calidad de vida de los pobladores.

Es por ello que el proceso de electrocoagulación es una alternativa de tratamiento muy eficiente y de bajo costo, el cual desestabiliza la materia orgánica hasta lograr una floculación de los contaminantes, con la finalidad de reducir la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de las aguas residuales (Arango, 2005).

1.2. Formulación de Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la eficiencia del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la concentración de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra antes del proceso de electrocoagulación?
- ¿Cómo se construirá la celda de electrocoagulación a escala de laboratorio, que permita las condiciones óptimas de operación (volumen de muestra y amperaje) para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra?
- ¿Cuál es la concentración de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra después del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio?



1.3. Justificación

1.3.1. Conveniencia

La presente investigación plantea el tratamiento de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra mediante el proceso de electrocoagulación como una alternativa para la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de manera eficiente.

El proceso de electrocoagulación está tomando cada vez más relevancia en el tratamiento de las aguas residuales de camales. El empleo de electrodos de acero inoxidable y de aluminio en este proceso es un aspecto crucial, ya que ambos materiales presentan diferentes propiedades físicas y químicas que influyen directamente en su eficiencia.

Por lo tanto, es necesario llevar a cabo investigaciones comparativas para determinar cuál de estos materiales es más adecuado para la reducción de la DQO, un parámetro clave que indica la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica disuelta en el agua.

1.3.2. Relevancia Social

Las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra contienen una elevada carga orgánica; esto representa una amenaza directa para la salud y el bienestar de la población aledaña, ya que estas se vierten directamente al río Huatanay el cual es utilizado para la agricultura y la ganadería.

La implementación del proceso de electrocoagulación para el tratamiento eficiente de estas aguas residuales reduce la concentración de DQO ayudando a disminuir los efectos dañinos sobre el cuerpo de agua receptor, mitigando así la problemática existente.

Actualmente, en el Perú no existe una normativa ambiental vigente que regule y controle los Límites Máximos Permisibles de las aguas residuales generadas por plantas de beneficio y/o camales. Por lo tanto, en la presente investigación se hace referencia a la normativa colombiana RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA, “LMP en los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería”.

1.3.3. Implicancia Práctica

El proceso de electrocoagulación es un tratamiento electroquímico que ayudara y beneficiara a la problemática ocasionada por el vertimiento de las aguas residuales del



Camal Municipal de K'ayra al río Huatanay, este consiste en inducir corriente eléctrica en el agua residual provocando reacciones químicas que desestabilizan los contaminantes los cuales precipitarán y/o flotarán.

Así mismo, los resultados de esta investigación indican que esta tecnología es viable y aplicable en otros camales y/o plantas de beneficio con características similares, mejorando su gestión y contribuyendo al avance de prácticas más efectivas y sostenibles.

1.3.4. Valor Teórico

La electrocoagulación es una tecnología de muy bajo costo, de fácil implementación, mantenimiento y operación (Arango, 2005) el cual no es comúnmente aplicado en el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica. Por ende, la investigación realizada amplía el conocimiento relacionado con el tratamiento de aguas residuales de camales mediante el proceso de electrocoagulación, proporcionando datos comparativos respecto al porcentaje de reducción de DQO.

1.3.5. Utilidad Metodológica

La presente investigación busca expandir el conocimiento y brindar información acerca de la eficiencia del proceso de electrocoagulación realizando una comparación entre electrodos de acero inoxidable y aluminio para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.

La metodología aplicada consiste en realizar experimentos donde se interactúa el material del electrodo, el tiempo de tratamiento y la cantidad de electrodos para identificar y analizar los factores clave que influyen en la eficiencia del proceso. Esto facilita el desarrollo de estrategias más efectivas para un diseño y optimización adecuado al tratamiento de las aguas residuales de camales, pudiendo ser replicado en otras investigaciones.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Comparar la eficiencia del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.



1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra antes del proceso de electrocoagulación.
- Construir una celda de electrocoagulación, a escala de laboratorio, que permita las condiciones óptimas de operación (volumen de muestra y amperaje) para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.
- Determinar la concentración de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra después del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio.

1.5. Delimitación del Estudio

1.5.1. Delimitación Espacial

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Andina del Cusco donde se realizaron los experimentos con los equipos e instrumentos respectivos, para lo cual se tomó muestras de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra (Figuras 1, 2 y 3), el cual se encuentra ubicado en:

- Distrito: San Jerónimo
- Provincia: Cusco
- Región: Cusco

Cuyas coordenadas UTM son:

- Latitud: $13^{\circ}33'10.82''$ S
- Longitud: $71^{\circ}52'27.32''$ O
- Altitud: 3189 msnm

Figura 1:

Ubicación geográfica del Departamento de Cusco



Figura 2:

Ubicación geográfica de la Provincia del Cusco

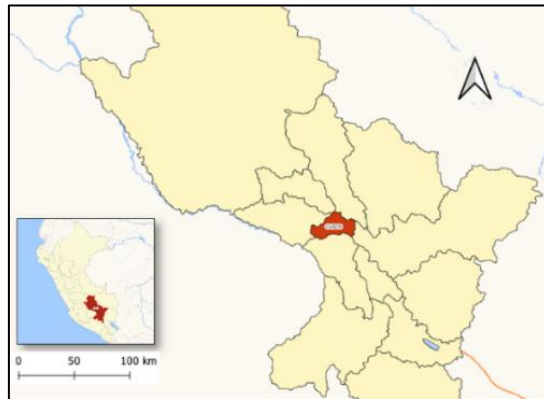


Figura 3:

Ubicación geográfica del Camal Municipal de K'ayra



Fuente: (Google Earth)

1.5.2. Delimitación Temporal

El trabajo de investigación se llevó a cabo en los meses de enero a noviembre del año 2023, en el cual se evaluó la DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Entiéndase por antecedentes de investigación a “la relación o el conjunto de toda conclusión obtenida por otros investigadores, o por el mismo investigador en tiempos pasados respecto al problema que se investiga, o en trabajos de investigación muy similares o relacionados” (Carrasco, 2005). Los antecedentes recopilados en la presente tesis fueron de utilidad por su información, ya que se pudo rescatar el uso de la electrocoagulación como medotodo para la reducción de la carga orgánica en industrias y plantas de beneficio, así como principios básicos para la construcción de una celda de electrocoagulación, entre otros.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

- **Hernández y Mejía (2019), cuyo título es** “Evaluación del sistema de Electrocoagulación para disminuir la carga contaminante a escala de laboratorio”, **su objetivo fue:** Evaluar el método de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la empresa Procesadora de Materias Primas (PMP), cuyos vertimientos se caracterizan por el contenido de alta carga orgánica. Posterior al diagnóstico se definieron las variables del método de electrocoagulación: pH, densidad de corriente, temperatura, material de los electrodos y tiempo de reacción, inmediatamente se eligió cuáles variables serían modificadas y cuales permanecerían fijas. **Su metodología fue:** Realizar dos experimentaciones, para la primera experimentación fue necesario hacer una prueba preliminar donde se evaluó el método de electrocoagulación en un tiempo de 15 y 60 minutos con un voltaje de 2V, esto con el fin de identificar si para remover la carga contaminante de los vertimientos de PMP es suficiente este tiempo, el resultado de esta prueba preliminar no fue el esperado por esta razón se decide realizar la primera experimentación en un tiempo de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 horas, con un voltaje de 2V y electrodos de hierro y aluminio, **y su conclusión fue:** Se obtuvo que el tiempo adecuado para la remoción de contaminantes de la empresa es 4 horas obteniendo una remoción mayor al 80%. Al comparar este resultado con los resultados encontrados en la bibliografía se identifica que el tiempo es demasiado alto para el método de electrocoagulación, por esta razón se realizó una segunda experimentación donde se evaluó el método utilizando electrodos de hierro, un



voltaje de 2,7V; 7,7V y 12,6V y un tiempo de 5, 15 y 30 minutos, se obtuvo como resultado que para un voltaje de 12,6 V y un tiempo de 30 min se removió más del 90% para los parámetros DQO, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y grasas y aceites.

- **Medina y Peralta (2015)**, cuyo título es “Validación de un prototipo de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica presente en la Industria”, **cuyo objetivo fue:** Evaluar un prototipo de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica presentes en la Industria, **cuya metodología fue:** Diseñar y construir un prototipo de sistema de electrocoagulación, **y su conclusión fue:** Uno de los alcances de este proyecto de tesis, es la validación del prototipo en un agua residual provenientes de la Industria donde el resultado obtenido fue satisfactorio, ya que las pruebas de laboratorio revelaron una disminución de DBO₅ en un 78.26%, DQO en un 90.54% y color en un 81.46%; en donde los parámetros de entrada con mayor influencia en la prueba prototipo de electrocoagulación son un caudal de 50 mL/min, el Aluminio como los mejores electrodos, un voltaje de 30V y una distancia de 1 cm.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

- **Ayuque y Esteban (2021)**, cuyo título es “Eficiencia de una cámara de electrocoagulación a escala de laboratorio para tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal Distrito de Huancavelica”, **donde su objetivo fue:** determinar el grado de influencia que tiene el uso de una cámara de electrocoagulación a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales del Camal municipal del distrito de Huancavelica, **y su conclusión fue:** Según los resultados el tiempo de retención y la densidad de corriente en la cámara de electrocoagulación influyen significativamente en las características fisicoquímicas del agua residual del Camal municipal, donde al incrementar la densidad de corriente y el tiempo en el proceso de electrocoagulación aumenta el porcentaje de remoción de contaminantes en más de 92.5 % respecto al parámetro DBO₅.
- **Carhuancho y Salazar (2015)**, cuyo título es “Estudio del efecto de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales Covicorti en la ciudad de Trujillo –



La Libertad”, **cuyo objetivo fue:** Aplicar el método de electrocoagulación para disminuir la carga orgánica contenida en las aguas residuales que llegan a las lagunas de oxidación de la Planta de Tratamiento de Covicorti, **y su conclusión fue:** La remoción alcanzada de contaminantes en las aguas analizadas es muy significativa, conformando el poder de la corriente eléctrica de desestabilizar el equilibrio eléctrico que presentan los agentes contaminantes, provocando su precipitación. Donde a mayor densidad de corriente circulada por los electrodos y menor separación de estos, se obtiene mayor porcentaje de remoción de contaminantes, teniendo así, una remoción de 96.48% de STT, 90.95% de DQO, 58.24% de DBO₅, 24.56% de SDT, 22.94% de SST, 21.80% de aceites y grasas, 93.56% de turbidez y 97.32% de color para el agua residual. Cabe mencionar que el electrodo que resulto ser más eficiente fue el ánodo de Aluminio.

- **Moreno (2018), cuyo título es** “Tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal, mediante el método de electrocoagulación – Cajamarca 2018”, **cuyo objetivo fue:** Proponer la electrocoagulación por su capacidad de remover contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, así mismo se realizó un estudio fisicoquímico en una celda de electrocoagulación experimental, se estudió la influencia de la densidad de corriente y el tiempo de retención, sobre el porcentaje de la remoción del DBO₅ de las aguas residuales del Camal municipal de Cajamarca, **cuya metodología fue:** Realizar un estudio experimental utilizando una solución sometida a diferentes densidades de corriente las cuales son 10, 20 y 40 mA/cm² y a diferentes tiempos de retención los cuales son 15, 30 y 60 minutos, con un pH inicial de 7.35 y con una T° inicial de 20.34°C, **y su conclusión fue:** Se logró una remoción de 91.21% de DBO₅ del Agua Residual del Camal Municipal de Cajamarca, disminuyendo así el grado de toxicidad. Asimismo, mediante el análisis ANOVA (análisis de la varianza con un factor) se determinó que el tiempo de retención y la densidad de corriente afectan notablemente en el proceso de electrocoagulación para remover el DBO₅.
- **Ramón (2021), cuyo título es** “Aplicación de la electrocoagulación como alternativa de remoción de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas residuales generadas en el Distrito de San Pedro de Saño, 2020”, **cuyo objetivo fue:** Determinar si la electrocoagulación representa ser una alternativa para la remoción de los sólidos suspendidos totales de las aguas residuales generadas en el distrito de San Pedro de Saño, Huancayo, 2020, **y su conclusión fue:** La



aplicación de la electrocoagulación representa ser una alternativa para la remoción de los sólidos suspendidos totales de las aguas residuales generadas en el distrito de San Pedro de Saño, Huancayo, 2020, ya que la eficiencia de remoción fue alta (superior al 80 %), alcanzando hasta el 89,43 % de remoción máxima ($r = 0,990$, $\text{sig.} = 0,000$). Se aplicó 3 A de intensidad de corriente eléctrica y 20 minutos de tiempo de contacto como las condiciones de electrocoagulación para lograr una máxima remoción de los sólidos suspendidos totales (89,43 %) de las aguas residuales generadas en el distrito de San Pedro de Saño.

2.1.3. Antecedentes Locales

- **Chacón y Huanpotupa (2021)**, cuyo título es “Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea Ramírez - Anta - Compone”, el **objetivo** de esta investigación fue determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica en el proceso del efluente industrial por electrocoagulación en un reactor monopolar de la industria láctea RAMÍREZ. **La metodología** de esta investigación para el tratamiento de lactosuero de la Empresa Ramírez por electrocoagulación se realizó en el laboratorio de Hidrocarburos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, los parámetros analizados fueron: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (elevada), Aceites y Grasas. **Concluyendo** que los parámetros de electrocoagulación del lactosuero de la Empresa RAMÍREZ se determinaron a una densidad de corriente de 56.7 A/m^2 , y en un tiempo de tratamiento de 50 minutos se obtienen los mejores porcentajes de remoción de la DQO de 86.96%, DBO_5 de 71.94%, aceites y grasas de 74.81% y TSS de 55.31% en un tiempo de 30 minutos.
- **Ninan y Zambrano (2019)**, cuyo título es “Tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario de Jaquira por electrocoagulación”, **cuyo objetivo fue:** Evaluar el tratamiento por electrocoagulación en reactor monopolar batch de los lixiviados del relleno sanitario de Jaquira., **cuya metodología fue:** Experimentación con el lixiviado antiguo y nuevo por diferencia de concentración iniciales de la DBO_5 , DQO y TSS sin ninguna modificación previa, es decir, manteniendo intactas la concentración inicial, el pH y la conductividad, **y su conclusión fue:** La eficiencia de tratamiento es superior en el lixiviado antiguo, siendo la remoción en un rango de 60 a 70% de DBO_5 , 45 a 70% para los TSS, ambos para un tiempo de 30



minutos. En el caso de la DQO se da en un rango de 20 a 40%, para un tiempo de 120 minutos. En ambos se utilizó una densidad de corriente mayor a 5.5 mA/cm²

- **Ticona (2021), cuyo título es** “Tratamiento electroquímico de aguas residuales procedentes del Camal Municipal de Anta, Cusco - 2021”, **cuyo objetivo fue:** Determinar la posibilidad de tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta, mediante electrólisis, Cusco - 2021, **y su conclusión fue:** En esta tesis, se comprobó que, sí es posible tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta mediante electrólisis durante un tiempo de 30 minutos; donde el nivel de los parámetros fisicoquímicos descendieron, como: 6.98% de CE, 99.90% de UNT, 10.12% de pH, 98.06% de SST, 91.60% de DBO₅, 80.15% de DQO, 95.50% de aceites y grasas, 52.38% de PT y 50% de NT.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Electroquímica

Según Vera (2007), la electroquímica consiste en la generación de reacciones químicas que producen electricidad y el uso de este para producir cambios químicos; es decir, estudia la conversión de la energía eléctrica y la energía química. Estos procesos electroquímicos son reacciones redox, en donde, la energía liberada por una reacción espontánea se convierte en electricidad o viceversa.

Las celdas electroquímicas se clasifican en:

- **Celdas electrolíticas:** Cuando la energía eléctrica procedente de una fuente externa hace que tenga lugar una reacción química no espontánea.
- **Celdas galvánicas o voltaicas:** En las que la energía que se libera en una reacción redox espontánea se puede usar, para realizar un trabajo eléctrico.

2.2.1.1. Electrodo

Es el componente de un circuito eléctrico que conecta el cableado a un medio conductor. Cuando se conecta los electrodos a una fuente de energía, el electrodo que se une al polo positivo del generador es el ánodo y el electrodo que se une al polo negativo del generador es el cátodo, en donde, las reacciones del electrodo dependen del voltaje aplicado (Díaz del Castillo, 2008).

2.2.1.2. Ánodo

Es el electrodo que pierde electrones en una reacción de oxidación el cual se vincula al polo positivo del tránsito de la corriente eléctrica (Valera, 2019).



Es el electrodo compuesto del metal recubridor donde, las líneas de fuerza se comportan de igual forma que las líneas de un campo magnético; es decir, éstas se desplazan de ánodo al cátodo, algunas en línea recta y otras ligeramente curvas (Díaz del Castillo, 2008).

En las células electrolíticas, al no contar con un conductor metálico, se pueden encontrar iones con carga positiva y negativa que se mueven en sentidos opuestos (Valera, 2019).

Los ánodos termoiónicos reciben la mayor parte de los electrones provenientes del cátodo, calentando el ánodo, generado por la tensión producida entre los electrones, el cual requiere una forma de disipar dicho calor. Estos ánodos se denominan “especiales”, y se encuentran dentro de los rayos X (Valera, 2019).

2.2.1.3. Cátodo

Es el electrodo conectado al polo negativo que, en una reacción química, sufre una reacción de reducción donde su estado de oxidación se reduce cuando este recibe electrones (Valera, 2019).

En las celdas electrolíticas, el traspaso de la energía, al no contar con un metal sino un electrolito, se manifiesta una coexistencia de iones negativos y positivos que se mueven en sentidos opuestos. Sin embargo, se dice que la corriente va desde el ánodo hacia el cátodo por naturaleza (Valera, 2019).

Los cátodos termoiónicos, emiten electrones por el efecto del calor. Estos cátodos se denominan “especiales”, y se pueden encontrar dentro de las válvulas termoiónicas donde, el cátodo puede calentarse a sí mismo haciendo circular una corriente de caldeo en un filamento que tiene acoplado a la misma (Valera, 2019).

2.2.1.4. Tensión Eléctrica (V)

Se define como el trabajo que hace falta aplicar para mover cargas eléctricas entre dos puntos, donde su unidad de medida es el voltio (V). El voltaje mide la diferencia de potencial con la que trabaja un aparato eléctrico (Comunidad de Madrid, 2002).

2.2.1.5. Corriente

Es la circulación de cargas o electrones a través de un circuito eléctrico cerrado, que normalmente se mueven del polo negativo al polo positivo de la fuente de suministro de fuerza electromotriz (FEM) (Pereira, 2016).



Según Pereira (2016) entre los tipos de corriente se tienen:

- **Corriente directa o continua (CC):** La corriente tiene una dirección fija o un solo sentido, y su magnitud es constante.
- **Corriente alterna (CA):** La corriente invierte su dirección o su sentido periódicamente en el tiempo, además de que su magnitud no permanece constante.
- **Corriente exponencial:** Está presente en la respuesta de circuitos de primer orden.
- **Corriente senoidal amortiguada:** Está presente en la respuesta de circuitos de segundo orden.

2.2.1.6. Fuerza Electromotriz

Se denomina fuerza electromotriz (FEM) a la energía proveniente de cualquier fuente, medio o dispositivo que suministre corriente eléctrica. Es necesario la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos o polos (uno negativo y el otro positivo) de dicha fuente, que pueda bombear o impulsar las cargas eléctricas a través de un circuito cerrado (Benites y León, s/f).

- **Circuito eléctrico abierto (sin carga o resistencia),** no establece la circulación de la corriente eléctrica desde la fuente de FEM.
- **Circuito eléctrico cerrado (con una carga o resistencia acoplada),** establece la circulación de un flujo de corriente eléctrica desde el polo negativo hacia el polo positivo de la fuente de FEM.

2.2.1.7. Densidad de Corriente

Se define como la corriente por unidad de área que se establece en un conductor donde su unidad de medida es el amperio (A). Normalmente, la densidad de corriente en un conductor es proporcional al campo eléctrico en el conductor (Álvarez et al, 2017).

La Ley de Ohm afirma que, para muchos materiales, la razón entre la densidad de corriente y el campo eléctrico es una constante y esta es independiente del campo eléctrico que produce la corriente". (Álvarez et al, 2017)

2.2.2. Electrocoagulación

Consiste en inducir corriente eléctrica en el agua residual a través de placas metálicas paralelas, esta proporciona la fuerza electromotriz que desestabilizan los contaminantes



formando componentes hidrofóbicos que se precipitan y/o flotan, los cuales se pueden remover fácilmente por algún método de separación de tipo secundario (Arango, 2005).

Según Linares et al. (2011) la electrocoagulación se considera como un sistema de tratamiento eficiente y efectivo para desestabilizar finamente las partículas dispersas en el agua residual, aunque su desarrollo data de principios del siglo pasado.

Para el proceso de electrocoagulación como alternativa de tratamiento de efluentes con cargas orgánicas es necesario considerar el diseño de la celda electrolítica, la selección correcta de los electrodos y las condiciones o factores que intervienen en la operación (Farfán et al., 2021).

2.2.2.1. Aplicaciones

Según Moya (2018) la electrocoagulación es utilizada en la reducción de contaminantes de muy diversas aguas residuales procedentes de diversas industrias, tales como:

- Minería
- Industria del papel
- Industria alimentaria
- Industria textil
- Industria pétreo
- Industria metalúrgica
- Industria de fertilizantes
- Industria mecánica, entre otros.

Además, según Restrepo et al., (2006) algunos estudios revelaron que la electrocoagulación es efectiva para el tratamiento de:

- Efluentes con contenido de metales pesados (cromo, mercurio, etc.)
- Efluentes con contenido de aceites y grasas
- Efluentes con detergentes sintéticos
- Efluentes con alto contenido de materia orgánica (DBO₅ y DQO)

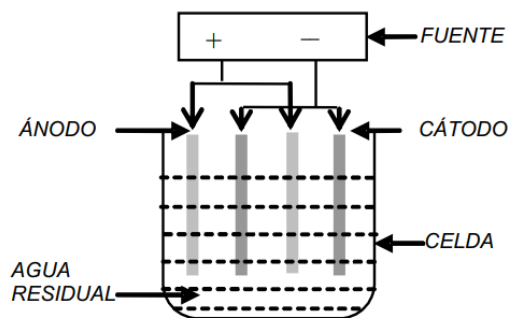
2.2.2.2. Diseño del Reactor

El reactor utilizado para el sistema de electrocoagulación está formado por una celda electroquímica con un ánodo y un cátodo colocados en forma vertical y conectados a una

fuerza de energía externa (Figuras 4 y 5). El material del ánodo debe de ser dimensionalmente estable, como el acero o aluminio y para el cátodo puede ser de metal, grafito, fibras de carbón, acero o titanio. El sistema para la electrocoagulación necesita una fuente de corriente directa, un regulador de densidad de corriente y de un multímetro para leer los valores de corriente (Arango, 2005).

Figura 4:

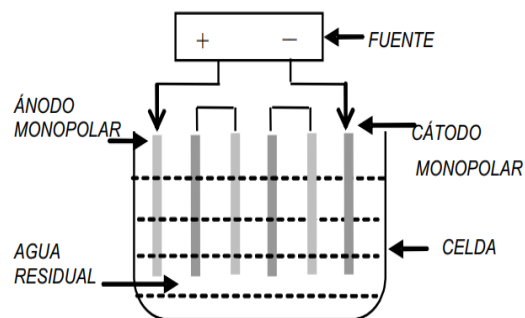
Reactor con electrodos monopolares conectados en paralelo



Fuente: (Arango, 2005)

Figura 5:

Reactor con electrodos monopolares conectados en serie



Fuente: (Arango, 2005)

2.2.2.3. Proceso de Electrocoagulación

Durante la electrocoagulación ocurre una serie de procesos físicos y químicos, en donde el lado positivo sufre reacciones anódicas, mientras que el negativo sufre reacciones catódicas aportando iones al sistema que neutralizan las cargas de las partículas, desestabilizando los sistemas de suspensión de los contaminantes iniciando la coagulación. Dichos coloides pueden flotar o precipitarse; además, como el agua contiene partículas coloidales, aceites u otros contaminantes, éstos se mueven a través del campo eléctrico aplicado y pueden ionizarse, sufrir reacciones de electrólisis o de hidrólisis o formar radicales libres que alteran las propiedades físicas y químicas del agua y de los contaminantes, resultando en un estado reactivo y excitado lo cual es causa de la liberación, destrucción o insolubilidad de los contaminantes (Arango, 2005).

En resumen, según Farfán et al. (2021) el proceso de electrocoagulación se desarrolla esencialmente en 3 pasos:

- Formación del coagulante en el ánodo por oxidación electrolítica del metal.
- Desestabilización de los contaminantes y emulsiones.
- Producción de flóculos por agrupación de partículas de los contaminantes o adsorción en el flóculo de compuestos presentes en la solución.



2.2.2.4. Factores que Afectan la Electrocoagulación

Según Restrepo et al., (2006) los principales factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación son:

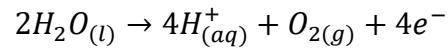
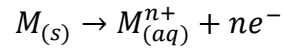
- **Densidad de corriente:** determina la cantidad de iones liberados por los respectivos electrodos, se debe de tomar en cuenta que, si la corriente es demasiado grande hay una transformación de energía eléctrica en energía calórica que calienta el agua y disminuye la eficiencia del sistema.
- **Conductividad:** un incremento en la conductividad eléctrica puede generar un incremento en la densidad de corriente, es decir, al mantener constante el voltaje inducido a la celda de electrocoagulación e incrementando la conductividad, se puede producir una disminución del voltaje aplicado.
- **Temperatura:** los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido investigados a profundidad, sin embargo, se encontró que la eficiencia en la corriente incrementa inicialmente hasta llegar a 60°C, donde se hace máxima para luego decrecer.
- **pH:** se relaciona con la eficiencia de la corriente en la disolución del hidróxido del metal, ya que se ha observado en diferentes investigaciones que el pH varía durante el proceso de electrocoagulación produciendo hidrógeno molecular, sin embargo, esto puede variar de acuerdo con el material usado en el ánodo y cátodo. Es recomendable tomar en cuenta la naturaleza del contaminante y trabajar con un pH cercano a 7 para mejorar la reducción de contaminantes.
- **Tiempo de residencia:** estudios anteriores mostraron que, a mayor tiempo de tratamiento en el sistema de electrocoagulación, se obtiene una mayor reducción de contaminantes.
- **Presencia de NaCl:** la sal aumenta la conductividad del agua residual, reduciendo los efectos negativos de iones que pueden generar una capa insoluble sobre los electrodos, aumentando el potencial entre los electrodos disminuyendo así la eficiencia de la corriente. Se recomienda, sin embargo, que para un proceso de electrocoagulación normal se mantengan cantidades de Cl del 20%.

2.2.2.5. Reacciones en los Electroodos

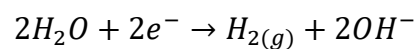
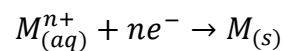
Un reactor de electrocoagulación simple se compone de un ánodo y un cátodo. Cuando se aplica un potencial de una fuente de energía externa, el material del ánodo sufre oxidación, mientras que el cátodo estará sujeto a reducción. Las reacciones

electroquímicas con el metal “M” como ánodo se pueden resumir como se muestra a continuación:

En el ánodo:



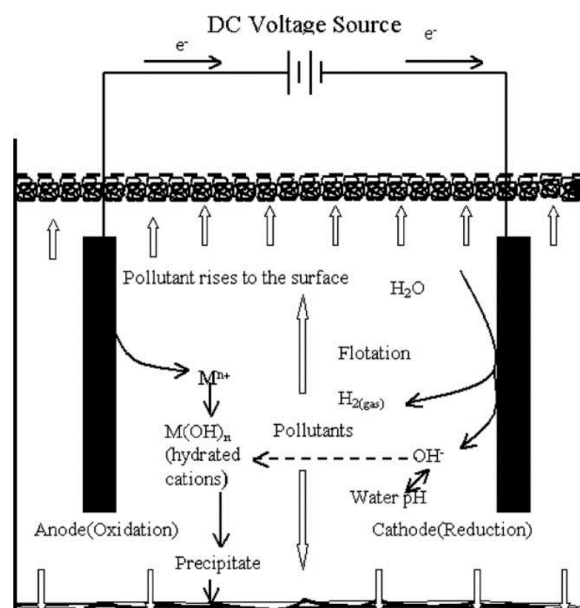
En el cátodo:



La conformación elemental demanda que los dos electrodos, cátodo y ánodo, estén sumergidos en agua. Los extremos no inmersos se sujetan a los cables, a su vez estas son conectadas a las terminales de una fuente de alimentación (Figura 6). El encendido con el interruptor permite la activación de la diferencia de potencial que impulsa el paso de la corriente eléctrica. En el ánodo comienza la electrodisolución del material del electrodo, frecuentemente aluminio o hierro, para generar los cationes metálicos que se transfieren a la fase acuosa donde inicia la secuencia reactiva ya descrita (Y.A. Mollah et al., 2004).

Figura 6:

Celda de electrocoagulación de dos electrodos



Fuente: (Y.A. Mollah et al., 2004).



2.2.2.6. Leyes de Faraday

Michael Faraday descubrió la relación fundamental entre la cantidad de electricidad que pasa a través de una solución electrolítica y el peso de la sustancia que se forma por reacción química en los electrodos. Las leyes de Faraday determinan la cantidad de masa que se adhiere a los electrodos o que se desprende de estos, como resultado de los procesos electrolíticos. Estas leyes son aplicadas a las celdas electroquímicas (Ninan y Zambrano, 2019).

- **Primera ley de Faraday:** la masa de un elemento depositada o liberada en la celda electrolítica es independiente de la composición química del electrolito cuando se mantiene su valencia.
- **Segunda ley de Faraday:** la cantidad de masa disuelta en la solución electrolítica o depositada de uno de los electrodos es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por el electrolito.
- **Tercera ley Faraday:** la cantidad de sustancia disuelta o depositada en un electrodo por el paso de carga eléctrica está relacionada entre sí con su equivalente químico, es decir, las masas son directamente proporcionales a sus equivalentes.

2.2.2.7. Ventajas

Según Arango (2005) algunas ventajas del proceso de electrocoagulación son:

- Produce flóculos similares a los producidos químicamente pero más grandes, lo que permite ser separados rápidamente
- Los costos de operación son menores que los de procesos convencionales
- Requiere de equipos simples y de fácil uso
- Puede generar aguas incoloras e inodoras.
- Elimina el uso de productos químicos
- Genera poca cantidad de lodos de fácil tratamiento
- Alta efectividad en la reducción de un amplio rango de contaminantes
- Reduce la contaminación en los cuerpos de agua
- Produce efluentes con menor cantidad de SDT
- Remueve las partículas coloidales más pequeñas, ya que el campo eléctrico aplicado las pone en movimiento más rápidamente facilitando la coagulación
- El tratamiento puede ser interrumpido y continuado a voluntad por el simple corte de la corriente eléctrica suministrada a los electrodos.



2.2.2.8. Desventajas

Según Restrepo et al., (2006) algunas desventajas del proceso de electrocoagulación son:

- Reposición de los electrodos de sacrificio
- Los lodos contienen altas concentraciones del material del electrodo de sacrificio usado
- El uso de electricidad puede ser costoso en muchos lugares
- El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso
- No es efectivo en la reducción de DBO_5 soluble, proveniente de solventes y anticongelantes.

2.2.3. Aguas Residuales

Según OEFA (2014) son aquellas aguas cuyas características iniciales han sido modificadas por actividades humanas, por ello requieren un tratamiento previo antes de ser reutilizadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

Según Espigares y Pérez (2015) son aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos que pueden ser causa y vehículo de contaminación al medio ambiente, deteriorando la calidad de vida de la población.

2.2.3.1. Clasificación

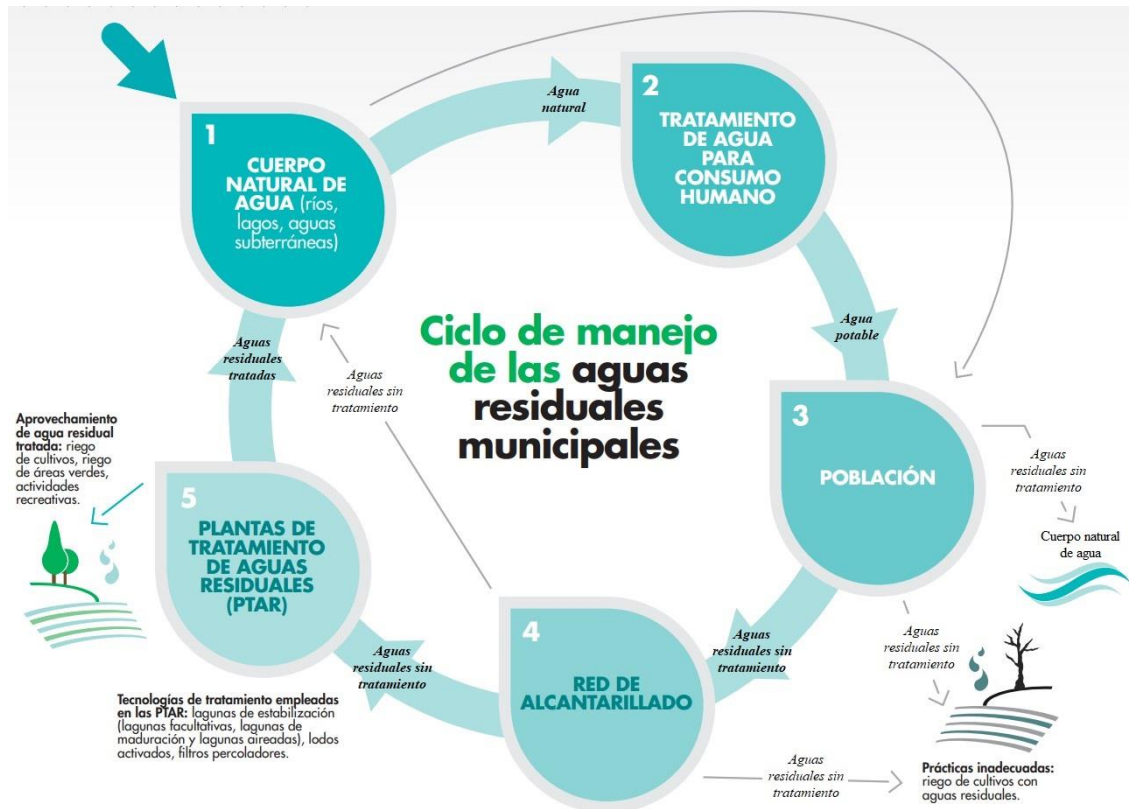
Según OEFA (2014) las aguas residuales se dividen o clasifican en:

- **Aguas residuales industriales:** son el resultado de un proceso productivo, incluyendo las procedentes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, etc.
- **Aguas residuales domésticas:** son de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, etc.; procedentes de la actividad humana las cuales deben ser dispuestas adecuadamente.
- **Aguas residuales municipales:** son aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de lluvia o aguas residuales de origen industrial previamente tratadas; para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Para tener un adecuado manejo de aguas residuales municipales, se debe tener en cuenta lo expuesto en la Figura 7:

Figura 7:

Ciclo de manejo de las aguas residuales municipales



Fuente: (OEFA, 2014)

2.2.3.2. Parámetros Físicoquímicos y Biológicos

Dan una información extensa de la naturaleza de las propiedades físicas y especies químicas y biológicas del cuerpo de agua, sin aportar información de su influencia en la vida acuática. Sus análisis suelen ser rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia con ayuda de ciertos instrumentos (Samboni et al., 2007).

2.2.3.3. Características Físicas de las Aguas Residuales

- **Temperatura:** suele ser superior a la del agua potable oscilando entre 10°C y 21°C, debido a las aguas generadas durante el aseo y las tareas domésticas. Una elevada temperatura puede modificar la flora y fauna por la reducción de oxígeno de los afluentes del agua residual dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc. (Espigares y Pérez, 2015).



- **Turbidez:** es la cantidad de partículas en suspensión que existe en las aguas residuales, teniendo un valor que oscila entre 1 NTU y 500 NTU; el cual afecta los afluentes receptores evitando la penetración de la luz (Espigares y Pérez, 2015).
- **Color y Olor:** el color suele ser gris o pardo, pero debido a los procesos biológicos anóxicos el color puede pasar a ser negro. Asimismo, el olor se genera por los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, por ende, el olor más característico del agua residual séptica es producido por la presencia del sulfuro de hidrógeno por acción de microorganismos anaerobios (Espigares y Pérez, 2015).
- **Sólidos:** según Espigares y Pérez (2015) pueden ser:
 - **Totales:** son aquellos residuos que quedan tras la evaporación y secado de la muestra a 130 °C durante 60 min en laboratorio. Su valor oscila entre los 300 y 1200 mg/L.
 - **Fijos:** son aquellos residuos que quedan después de la evaporación y carbonización a 600 °C durante minutos en laboratorio. Su valor promedio oscila entre los 300 y 500 mg/L para disueltos y 50 a 100 mg/L para suspendidos.
 - **Volátiles:** es la diferencia entre sólidos totales y fijos. Su valor promedio oscila entre los 100 a 350 mg/L para disueltos y 50 a 300 mg/L para suspendidos.
- **Densidad de Corriente:** es importante dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. Su valor es variable y pueden oscilar entre los 500 y 1000 uS/cm (Espigares y Pérez, 2015).

2.2.3.4. Características Químicas

- **Materia orgánica:** conforma la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, compuesto principalmente por: proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%), grasas y aceites (10%) (Espigares y Pérez, 2015).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):** es la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos puedan degradar la materia orgánica presente en el agua donde su valor oscila entre los 100 y 500 mg/L. Esta prueba se realiza



durante 3 o 5 días a 20°C por lo que se expresa como DBO_3 o DBO_5 , respectivamente (Espigares y Pérez, 2015).

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** mide la cantidad de materia orgánica del agua mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, presentando un valor variable que puede ir desde los 200 mg/L hasta 1000 mg/L (Espigares y Pérez, 2015).
- **Carbono orgánico total (COT):** es el carbono propio de las sustancias orgánicas presentes en las aguas superficiales, el cual se mide mediante la introducción de una cantidad conocida de muestra en un horno a alta temperatura, oxidándose y produciendo CO_2 el cual se cuantifica mediante un analizador de infrarrojos (Espigares y Pérez, 2015).
- **Demanda total de oxígeno (DTO):** se realiza en una cámara de combustión catalizada con platino, en la cual se produce una transformación de la materia orgánica en productos finales estables (Espigares y Pérez, 2015).
- **Demanda teórica de oxígeno (DTeO):** se estima mediante una reacción teórica de oxidación total. Es necesario conocer la composición de las aguas residuales en carbohidratos, proteínas y grasas (Espigares y Pérez, 2015).
- **pH:** es un parámetro que se encuentra entre los valores de 5 a 9, lo cual no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas a este respecto (Espigares y Pérez, 2015).
- **Cloruros:** se consideraban como indicador indirecto de contaminación fecal cuyo valor promedio se encuentra entre los 20 y 100 mg/L, pero pueden tener otras procedencias, como la infiltración de aguas marinas, uso de sustancias ablandadoras, etc. (Espigares y Pérez, 2015)
- **Alcalinidad:** mide la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. El agua residual suele tener una alcalinidad entre 7.5 y 9.5, cuyo origen es el agua potable y la adición de sustancias de uso doméstico (Espigares y Pérez, 2015).
- **Nitrógeno:** es esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas donde su valor oscila entre los 20 a 100 mg/L; la escasez de nitrógeno puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos y reducir sus tasas de crecimiento, no obstante, puede contribuir en el agotamiento del oxígeno y la



eutrofización de los afluentes receptores cuando se encuentra en altas concentraciones (Espigares y Pérez, 2015).

- **Fósforo:** es fundamental para el crecimiento de los organismos teniendo un valor que oscila entre los 5 y 50 mg/L el cual depende de las actividades que puedan realizarse. Se puede encontrar en las aguas residuales como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato satisface los requerimientos de fósforo de todos los organismos y esta no debe exceder los niveles del nitrógeno (Espigares y Pérez, 2015).
- **Azufre:** es necesario para la concentración de proteínas y se libera cuando éstas se descomponen. La mayoría de los microorganismos pueden usar el sulfato como fuente de azufre, sin embargo, algunas especies requieren compuestos en forma más reducida para la biosíntesis. Es así que su valor oscila entre los 50 a 200 mg/L dependiendo de las actividades que se realicen (Espigares y Pérez, 2015).
- **Metales pesados:** se pueden encontrar en algunas aguas residuales procedentes de actividades metalúrgicas, o industrias donde utilicen metales como: cobre, cromo, boro, plomo, plata, arsénico, antimonio, bario, flúor y selenio (Espigares y Pérez, 2015).
- **Gases:** entre los más frecuentes en las aguas residuales se tiene al nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfuro, amoníaco y metano. De los cuales los tres primeros se encuentran en todas las aguas residuales expuestas al aire por ser gases comunes en la atmósfera, mientras el resto son resultado de la descomposición de la materia orgánica (Espigares y Pérez, 2015).
- **Oxígeno disuelto:** es importante para la vida de todos los organismos aerobios teniendo como valor mínimo 5 mg/L, sin embargo, un crecimiento incontrolado de estos puede conducir a un agotamiento del agua. Además, la presencia de oxígeno evita los malos olores en el agua y esta depende de factores como la solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura, salinidad del agua, sólidos suspendidos en agua, etc. (Espigares y Pérez, 2015)
- **Sulfuro de hidrógeno:** se genera por descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada, o por la disminución de sulfatos y sulfitos minerales. Es un gas incoloro, inflamable, además de un olor característico muy desagradable. Al



combinarse con la presencia de hierro en agua residual da lugar al sulfuro de hierro dando un color negro a la misma (Espigares y Pérez, 2015).

- **Metano:** es el subproducto más importante de la descomposición anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales. Aunque no suele encontrarse en grandes niveles, es necesario tener precaución ante el gran peligro de explosión que supone su alta combustibilidad (Espigares y Pérez, 2015).

2.2.3.5. Características Biológicas

- **Bacterias:** pueden ser de origen fecal o resultado de procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento. Los más comunes en aguas residuales son: Escherichia, Salmonella, estreptococos fecales, Nitrobacter, etc. (Espigares y Pérez, 2015)
- **Virus:** provienen de la excreción por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Estos poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, beneficiando su supervivencia en las aguas residuales durante un largo tiempo. Entre los más comunes se tiene: virus de la hepatitis, Rotavirus, Adenovirus, etc. (Espigares y Pérez, 2015)
- **Algas:** su desarrollo está beneficiado por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y residuos de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización. Entre los géneros más comunes se tiene a: Anacystis, Gleocystis, Spirogyra, Cladophora, etc. (Espigares y Pérez, 2015)
- **Protozoos:** entre las más comunes en aguas residuales son las amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos cumplen un rol muy importante en los procesos de tratamiento biológico ya que pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua evitando la producción de efluentes con turbidez (Espigares y Pérez, 2015).
- **Hongos:** la mayoría son aerobios estrictos los cuales pueden resistir valores de pH relativamente bajos y tienen baja demanda de nitrógeno. Entre los géneros más comunes se tiene: Aureobasidium, Fusarium, Sepedonium, Sphaerotilus, etc. (Espigares y Pérez, 2015)

2.2.4. Aguas Residuales de Camales

El agua en los camales es un elemento de suma importancia para llevar a cabo las actividades de faenado, este es necesario en todas las etapas del proceso, ya sea para la



limpieza, como medio de desinfección, como vehículo de conducción de productos indeseados, etc. (López y Casp, 2004)

Las aguas residuales de los mataderos poseen una elevada carga contaminante, así como también estos contienen una elevada concentración de materia orgánica, un porcentaje considerable de grasas ocasionando que el tratamiento de este sea mucho más complicado, constituyendo un importante problema para este tipo de industrias (López y Casp, 2004).

2.2.4.1. Características de las Aguas Residuales de Matadero

Las aguas residuales de los mataderos conforman un significativo problema, debido a que diversos puntos del proceso de faenado son considerados focos importantes de contaminación, como por ejemplo el sangrado y escaldado en los cuales se genera una elevada carga orgánica, así como grasas y proteínas que se encontraran disueltas en el agua residual; la tripería conforma un foco muy importante de contaminación ya que en esta se generan todos los desechos provenientes de la limpieza de estómagos, intestino, etc. (López y Casp, 2004).

Se calcula que entre un 15% y 20% de la sangre llega a parar a los vertidos finales, los principales componentes que incrementan la carga orgánica presente en las aguas de lavado en los mataderos son las proteínas y grasas. Estos contienen hidratos de carbono como glucosa y celulosa, así como agentes de limpieza como por ejemplo detergentes y desinfectantes. Estos efluentes contienen una elevada concentración de microorganismos patógenos. Se calcula que entre el 25% y 55% del total de la carga contaminante medida en DBO₅ son arrastradas por las aguas de limpieza (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2001).

Los autores López y Casp (2004) analizaron las características de las aguas residuales procedentes de cada una de las etapas del proceso de faenado, siendo estas las siguientes:

- **Recepción de animales y lavado de camiones:** en esta etapa las aguas residuales contienen en su mayoría restos de productos de limpieza, así como residuos orgánicos procedentes de la orina y deposiciones de los animales.
- **Estabulación:** durante este proceso los animales orinan y defecan, aportando al agua residual de esta sección un alto contenido de compuestos nitrogenados. Se estima un consumo de agua entre 5 y 15 litros/m² para la limpieza de los establos.



- **Aturdido:** debido a las peculiaridades de esta etapa el animal producirá una gran cantidad de orina, lo cual ocasionará la contaminación del agua con compuestos nitrogenados.
- **Sangrado:** aun teniendo distintos métodos de almacenamiento de sangre para evitar verterlo directamente al alcantarillado, siempre existirá la posibilidad de pérdidas por goteo, lo cual va a ocasionar un incremento elevado de materia orgánica en el agua residual, ya que la sangre cruda del animal tiene una DBO₅ de 200 000 mg/L.
- **Triperías:** las aguas residuales procedentes de esta actividad (lavado de estómagos e intestinos), contienen una gran cantidad de materia orgánica como contenido digestivo, grasas procedentes del raspado de la tripa, mucosa y serosa propia de los intestinos. El agua del lavado de tripas posee un DBO₅ de 80 000 mg/L.
- **Lavado:** las aguas residuales de esta etapa son las más abundantes, conteniendo gran cantidad de sustancias orgánicas y grasas, así como restos de agentes detergentes y desinfectantes. El consumo estimado de agua para la limpieza de los locales de faenado es de 5 litros/m² y día.

Llegando a la conclusión de que las aguas residuales generadas en los camales tienen una elevada concentración de la carga contaminante en especial la materia orgánica y las grasas. Según López y Casp (2004). Los parámetros más significativos de las aguas residuales de un matadero son los siguientes:

- DBO₅: 1800-2500 mg/L
- DQO: 4000-6000 mg/L
- SST: 1500-3000 mg/L
- Aceites y Grasas: 100-200 mg/L
- NT: 250-500 mg/L
- PT: 20-30 mg/L

2.2.5. Camal Municipal de K'ayra

Se encuentra ubicado en el sector de K'ayra y administrado por la Municipalidad Provincial de Cusco, brinda servicios de beneficio de ganado vacuno, ovino y porcino. Su infraestructura está en buen estado de conservación (Municipalidad Distrital de San Jerónimo - Cusco, 2017).



2.2.5.1. Caracterización de las Aguas Residuales

Según la investigación realizada por Alvarez y Suni (2021) en la tesis “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal del Cusco” la caracterización las aguas residuales presentan un alto contenido de materia orgánica, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1:

Resultados de Laboratorio EPS Seda Cusco

| PARAMETRO | UNIDAD | PROMEDIO |
|------------------------|----------------------|----------|
| Sólido Totales (ST) | mg/L | 5549.33 |
| Aceites y Grasas (AyG) | mg/L | 19.59 |
| DBO ₅ | mg O ₂ /L | 2367.85 |
| DQO | mg O ₂ /L | 4627.00 |
| pH | pH | 7.21 |

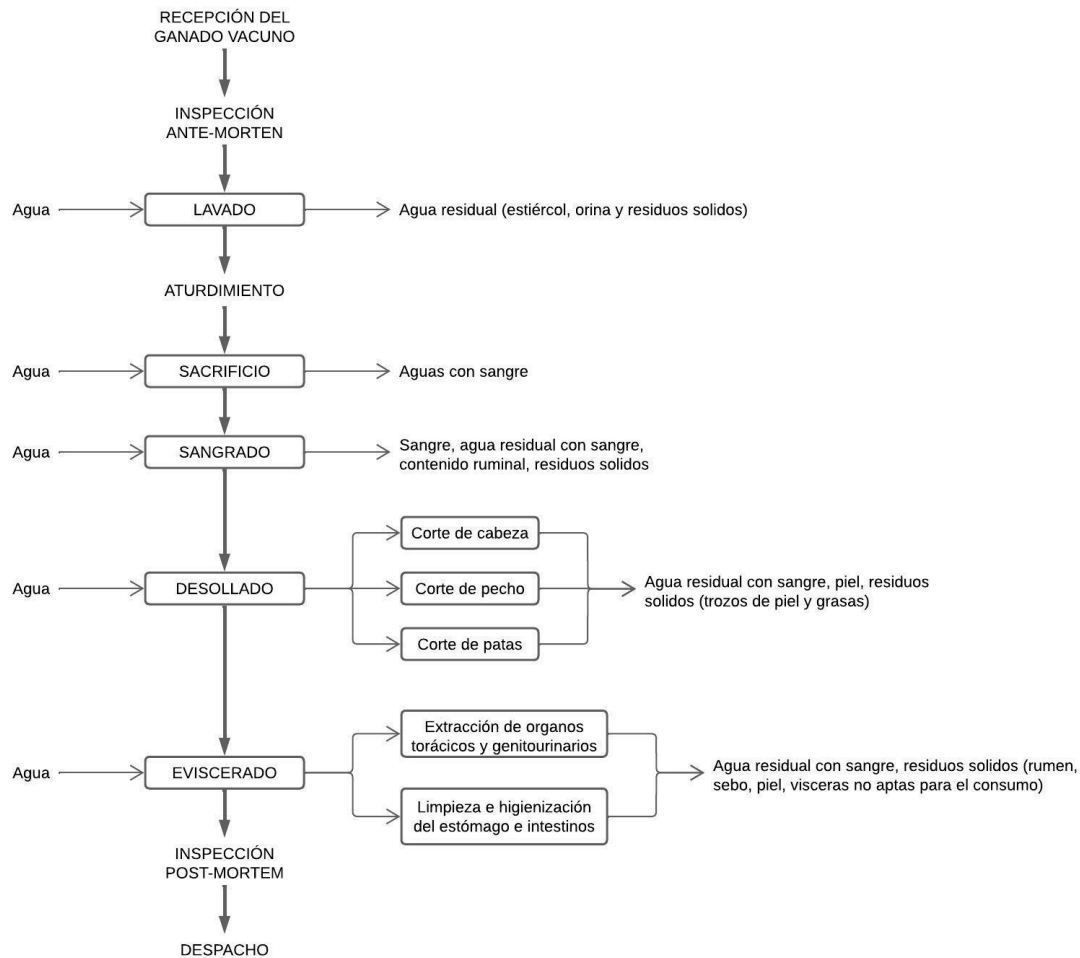
Fuente: (Alvarez y Suni, 2021)

2.2.5.2. Capacidad de Producción

El Camal Municipal de K’ayra se encuentra al límite máximo de su capacidad de producción de acuerdo con la infraestructura, uso de recursos, corrales adecuados, personal capacitado. Asimismo, no cuenta con un tratamiento adecuado para la limpieza de sus efluentes, calificándolo como un camal medianamente eficiente; se utilizan aproximadamente 500 litros de agua por cada animal beneficiado (Hurtado y Borda, 2021).

Según la investigación realizada en la tesis “Eficiencia técnica en los servicios de los camales del Departamento del Cusco, 2016” se demostró que en promedio del año 2016 al 2021 ingresaron durante estos cinco años cien animales por día (Hurtado y Borda, 2021).

2.2.5.3. Diagrama de Bloques del Proceso de Faenado Vacuno



Fuente: (Castañeda, 2022)

2.3. Definición de Términos

Descargas industriales: es el acto de verter las aguas residuales provenientes de locales donde se llevan a cabo cualquier tipo de actividades ya sea comercial o industrial, (Rodríguez et al., 2006), descargando estas grandes cantidades de contaminantes favoreciendo principalmente al incremento de sólidos suspendidos y la DBO₅ (Cortes et al., 2010).

Actividad antropogénica: la contaminación antropogénica es aquella producida por los humanos, teniendo como fuentes de contaminación más importantes las siguientes: carga tóxica, desagües, residuos sólidos, agricultura y ganadería, siendo esta una de las actividades con mayor impacto al medio ambiente (Porras, 2019).



Ecosistema acuático: estos comprenden todas las zonas de la tierra las cuales estén cubiertas por agua, como: ríos, lagos, etc. Pueden dividirse según la salinidad del agua en, Ecosistemas de agua salada: mares y océanos; Ecosistemas de agua dulce: ríos, lagos, etc. (Enciclopedia Online, 2019).

Faenamiento de bovinos: “Es el proceso ordenado sanitariamente para el sacrificio de un animal bovino, con el objeto de obtener su carne en condiciones óptimas para el consumo humano” (Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito, 2020).

Tratamiento de aguas residuales: son operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, actuando en conjunto son utilizados con la finalidad de tratar las aguas residuales las cuales cumpla con la calidad requerida para su disposición final, o el aprovechamiento mediante el reúso (MINAM, 2009).

Camales: los camales, rastro, matadero o frigorífico matadero, son establecimientos donde se realizan operaciones de sacrificio y faenado de diferentes animales sean estos bovinos, ovinos, porcinos, aves, etc., que son destinados para el consumo público. (Fundación MAPFRE, 2005).

Materia orgánica: “la contaminación del agua por materia orgánica puede generarse por vertidos urbanos, actividades ganaderas, así como por escurrimientos agrícolas e industriales” (Fuentes et al., 2015).

Degradación del medio ambiente: es definida como cualquier interacción, alteración o cambio que resulta ser perjudicial o indeseable para el medio ambiente, llegando a diezmar los recursos como el aire, agua y suelo ocasionando la destrucción de los ecosistemas y extinción de la vida silvestre (Zurrita et al., 2015).

Coagulación química: es el proceso que consiste en la añadir una o más sustancias químicas al agua, distribuidas uniformemente en ella para llegar a formar un floc fácilmente sedimentable (Rodríguez, 2008).

Voltaje: también conocido como presión eléctrica, fuerza electromotriz (FEM), tensión eléctrica, gradiente de potencia caída de voltaje y diferencia de potencial (Harper, 2004).

Metales pesados: son hallados de manera natural en el ambiente en concentraciones que normalmente no perjudican las diferentes formas de vida, estos no pueden ser degradados o destruidos, pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos y ser lixiviados



formando complejos solubles que son transportados y distribuidos a los ecosistemas (Londoño et al., 2016).

Proceso electrolítico: consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través de un electrolito, entre dos electrodos conductores denominados ánodo y cátodo. Donde las reacciones ocurren en los electrodos (del Castillo, 2008).

Electrolisis: consiste en emplear energía eléctrica para provocar una reacción redox que no es espontánea, se lleva a cabo en celdas electrolíticas para la separación de sustancias por medio del uso de la electricidad. (Pereira et al., 2016).

Reacción redox: en una reacción redox siempre existe una sustancia que se oxida y otra que se reduce, lo que implica un intercambio de electrones entre las mismas (Albarrán, 2008).

Reducción: Ganancia de electrones por parte de un átomo, molécula, grupo de átomos o grupo de moléculas (Albarrán, 2008).

Oxidación: Pérdida de electrones por parte de un átomo, molécula, grupo de átomos o grupo de moléculas (Albarrán, 2008).

Floc: es un proceso por el cual las partículas se unen en pequeñas masas con peso específico superior al del agua (Rodríguez, 2008).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

El proceso de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable tiene mayor eficiencia que los electrodos de aluminio en la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- La concentración DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra antes del proceso de electrocoagulación excede los LMP en los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería.
- La construcción de la celda de electrocoagulación, a escala de laboratorio, que permita las condiciones óptimas de operación (volumen de muestra y amperaje) para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra



es un prisma rectangular de acrílico, con una capacidad de 2 litros y un amperaje de 10 amperios.

- La concentración de contaminantes de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra después del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio cumple con los LMP en los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería.

2.5. Variables e Indicadores

2.5.1. Identificación de Variables

La **variable Independiente** fue el **proceso de electrocoagulación** como alternativa de tratamiento para las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra. Y sus indicadores fueron:

- Tiempo de retención hidráulica (min.)
- Número de electrodos (und.)
- Electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio

La **variable dependiente** fue la **reducción de DQO** de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra. Y sus indicadores fueron:

- Reducción de DQO en el agua residual (%)



2.5.2. Operacionalización de Variables

Tabla 2:

Matriz de operacionalización de la Variable Independiente

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| Proceso de Electrocoagulación | La electrocoagulación es: “Un proceso que utiliza la electricidad para eliminar contaminantes presentes en el agua, que puedan estar suspendidos, disueltos o emulsificados” (Arango, 2005). | Los criterios de evaluación para la electrocoagulación fueron: <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de tratamiento • Cantidad de electrodos • Material del electrodo | Tiempo de tratamiento Cantidad de electrodos Material del electrodo | Tiempo de retención hidráulica (min.) Número de electrodos (und.) Electrodos de acero inoxidable Electrodos de aluminio |

Tabla 3:

Matriz de operacionalización de la Variable Dependiente

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES |
|------------------|---|---|-------------|--|
| Reducción de DQO | DQO, mide la cantidad de MO del agua (Espigares y Pérez, 2015). | Los criterios de evaluación para el análisis de la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra fueron: <ul style="list-style-type: none"> • DQO | DQO | Reducción de DQO en el agua residual (%) |



CAPÍTULO III: MÉTODO

3.1. Alcance del Estudio

Según Hernández (2014) indica que, una investigación es explicativa cuando va más allá de la descripción de un fenómeno, concepto o variable, o del simple hecho de establecer una relación entre estas; están dirigidos a responder por las causas y efectos de los eventos y fenómenos, que los ocasiona y por qué los ocasiona.

Por la tanto, el alcance de la presente investigación fue de tipo explicativa, puesto que, tuvo la finalidad de evaluar la eficiencia de la electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable en comparación con electrodos de aluminio, teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulica y el número de electrodos, para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra evaluadas a escala de laboratorio.

3.2. Diseño de Investigación

Según Hernández (2014), cuando en una investigación se manipula exclusivamente una o más variables independientes con la finalidad de analizar y medir las consecuencias que estas puedan causar en una o más de las variables dependientes, hace referencia al tipo de diseño experimental.

Por lo tanto, el diseño de la presente investigación fue experimental, debido a que las muestras obtenidas de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra fueron sometidas a un proceso de tratamiento por electrocoagulación, buscando disminuir la concentración de DQO.

3.2.1. Descripción del Diseño Experimental

Se utilizó el diseño factorial 2^k para determinar el número de tratamientos teniendo en cuenta los factores de material del electrodo (X_1), tiempo de tratamiento (X_2) y cantidad de electrodos (X_3). Teniendo la siguiente ecuación:

$$N = 2^K \quad \Rightarrow \quad N = 2^3 \quad \Rightarrow \quad N = 8$$

Donde:

N: número de experimentos

K: número de factores

2: número de niveles



En la presente investigación los tres factores están constituidos por las dimensiones de la variable independiente. En cuanto a los niveles, se tienen los siguientes: nivel alto (+) y nivel bajo (-), teniendo como variable de respuesta el porcentaje de reducción de DQO tal como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4:

Diseño factorial

| NIVEL | FACTOR | | |
|----------|--|---|---------------------------------------|
| | Material del Electrodo (X ₁) | Tiempo de Tratamiento (X ₂) | Número de Electrodo (X ₃) |
| Bajo (-) | Acero Inoxidable | 30 minutos | 5 placas |
| Alto (+) | Aluminio | 60 minutos | 11 placas |

En la Tabla 5 se consideró la siguiente matriz de experimentación para desarrollar el proceso de electrocoagulación:

Tabla 5:

Combinaciones de la experimentación

| Experimento | X ₁ | X ₂ | X ₃ | Material del Electrodo | Tiempo de Tratamiento | Número de Electrodo |
|-------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | - | - | + | Acero Inoxidable | 30 minutos | 11 placas |
| 2 | + | - | + | Aluminio | 30 minutos | 11 placas |
| 3 | - | + | + | Acero Inoxidable | 60 minutos | 11 placas |
| 4 | + | + | + | Aluminio | 60 minutos | 11 placas |
| 5 | - | - | - | Acero Inoxidable | 30 minutos | 5 placas |
| 6 | + | - | - | Aluminio | 30 minutos | 5 placas |
| 7 | - | + | - | Acero Inoxidable | 60 minutos | 5 placas |
| 8 | + | + | - | Aluminio | 60 minutos | 5 placas |

Cabe mencionar, que se realizó tres replicas correspondientes a cada día de experimentación teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$N_r * N = N_t \quad \Rightarrow \quad 3 * 8 = 24$$



Donde:

N_r: número de replicas

N: número de experimentos

N_t: total de experimentos

3.3. Población

Para Hernández (2014) la población es un conjunto determinado por sus características, el cual se define de acuerdo a las peculiaridades de la investigación en concordancia con el tiempo y lugar, considerando el planteamiento del problema y los objetivos de la investigación.

Por lo tanto, la población de estudio estuvo comprendida por las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.

3.4. Muestra

Según Hernández (2014), la muestra se define como una subclase o grupo más específico de la población y es imprescindible para ejecutar la experimentación.

Por lo tanto, el tipo de muestra fue compuesta. Se realizó la toma de muestra de 20 litros por día de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra directamente del punto de vertido al río Huatanay, el cual fue sometido al proceso de electrocoagulación donde se analizó la DQO antes y después del tratamiento. Se llevó a cabo en los meses de abril y octubre del 2023.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1. Técnicas de Recolección de Datos

De acuerdo con el alcance y diseño de la presente investigación, se empleó la observación experimental como técnica de recolección de datos, este brindó la información necesaria para analizar los efectos que tiene la variable independiente sobre la variable dependiente a nivel de laboratorio.

3.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos

De acuerdo con la técnica anteriormente mencionada, los instrumentos de recolección de datos fueron:



- **Fichas de recolección de datos**, los cuales son propuestos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, siendo así las siguientes:
 - Registro de Datos de Campo (Anexo I)
 - Etiqueta para Muestra de Agua (Anexo II)
 - Cadena de Custodia (Anexo III)
 - Registro de Identificación del Punto de Monitoreo (Anexo IV)
- **Reportes de laboratorio (Laboratorio Louis Pasteur)**, en el cual se detallaron los resultados químicos correspondientes (DQO) a las muestras ya tratadas por electrocoagulación de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.
- **Ficha de laboratorio**, en el cual se registraron los datos obtenidos de los experimentos después del tratamiento por electrocoagulación de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.

3.5.3. Procedimiento Experimental

3.5.3.1. Construcción de la Celda de Electrocoagulación y Sistemas de Electroodos

a) Construcción de la celda de electrocoagulación

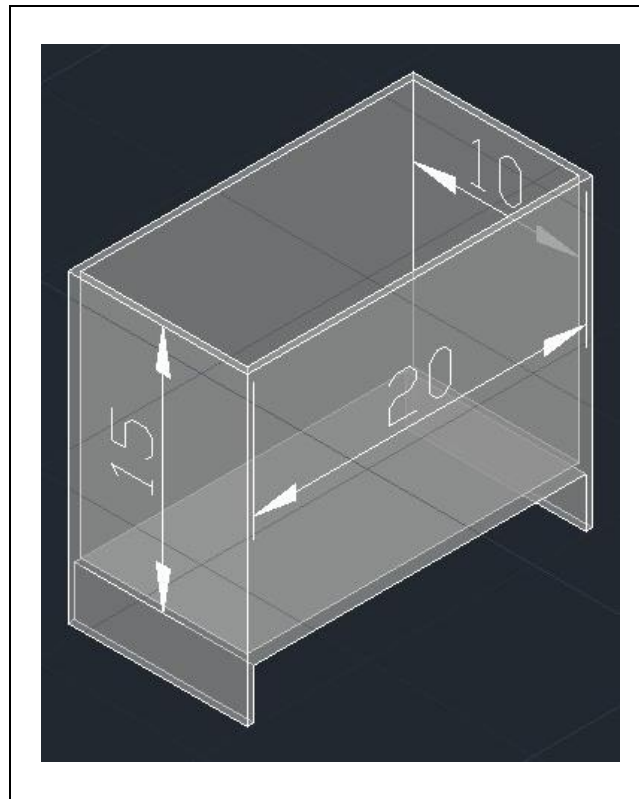
Para las dimensiones del reactor se optó por un diseño que sea eficiente, económico, de fácil limpieza y operación. Se tuvo en cuenta el diseño empleado por Arango y Garcés (2007), teniendo una altura de las espumas de 3 cm, 1 cm para los sedimentos y 11 cm para el agua a tratar.

Se optó por una celda de 20 cm de largo por 10 cm de ancho por 15 cm de alto (Figura 8), el cual posee una capacidad máxima de 3 litros, cuyo material fue acrílico de 4 mm por su facilidad de trabajo, accesibilidad, precio y ser no conductor.



Figura 8:

Diseño de la celda de electrocoagulación - AutoCAD



Para la construcción de la celda de electrocoagulación, se hizo uso de los siguientes materiales:

- Acrílico (4 mm)
- Cloroformo
- Lija gruesa
- Lija fina
- Jeringa de 10 mL
- Vernier
- Regla
- Lapicero
- Fiola de 250 mL
- Jarra de 500 mL
- Papel sticker
- Marcador indeleble
- Cinta adhesiva

Se comenzó cortando el acrílico con ayuda de una sierra afilada, regla y lapicero. Una vez cortada se utilizó la dobladora para dar forma a la celda (Figura 9).



Figura 9:

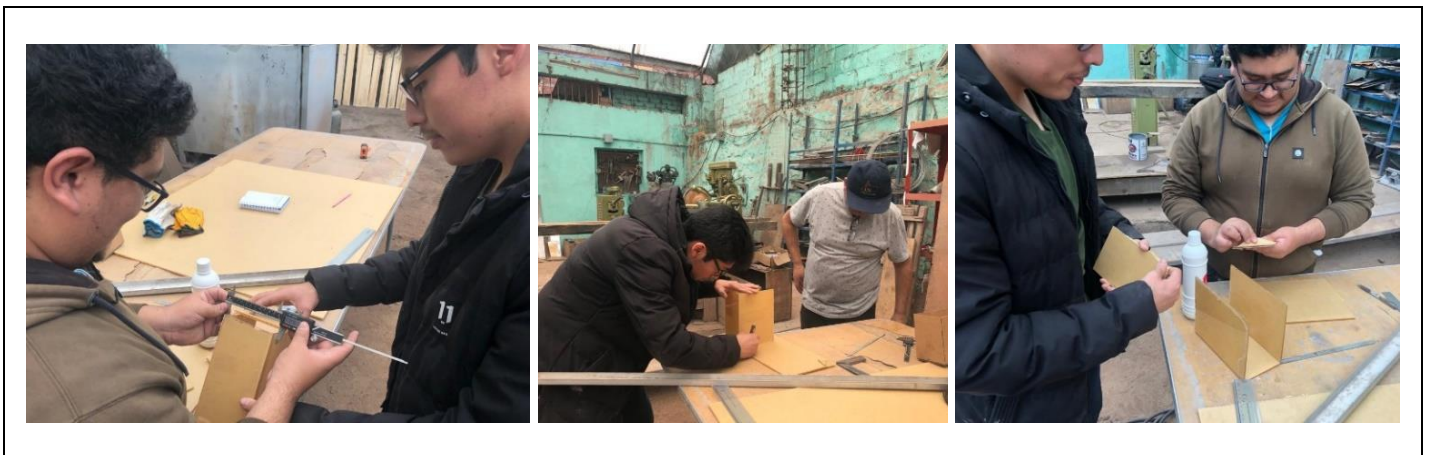
Corte y doblado de acrílico



Una vez doblado se verifico el ancho de la celda con el vernier para posteriormente cortar las caras laterales como se observa en la Figura 10.

Figura 10:

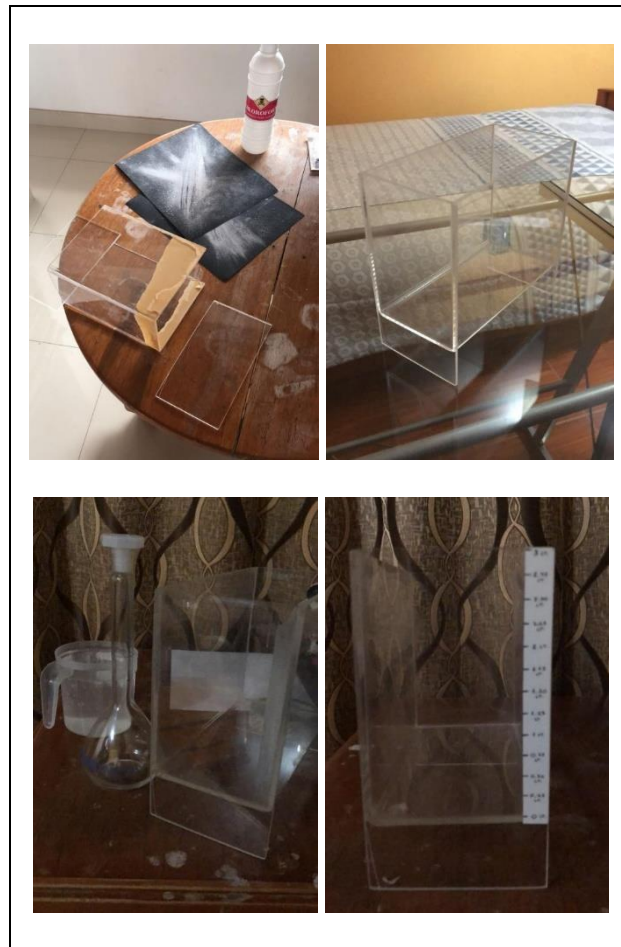
Medición y cortado de la celda de electrocoagulación



Con todas las piezas ya cortadas y dobladas se procedió a pegar la celda de electrocoagulación con ayuda del cloroformo y jeringas. Para finalizar, se nivelaron las patas de la celda con ayuda de las lijas, además se colocó los volúmenes respectivos utilizando una fiola de 250 mL, jarra, papel sticker y marcador indeleble (Figura 11).

Figura 11:

Celda de electrocoagulación terminada



b) Construcción de los sistemas de electrodos

Para el dimensionamiento de las placas y cantidad de placas se tomó en cuenta la investigación realizada por Arango y Garcés (2007), donde menciona la siguiente fórmula.

$$\text{Número de electrodos} = \frac{(\text{ancho de celda}) - 2 * (\text{dist. entre electrodos})}{(\text{dist. máxima entre electrodos} + \text{espesor de placa})}$$

Entonces:
$$\text{Número de placas} = \frac{20 - 2 * 0.5}{(1.5 + 0.2)} = 11.1 \approx 11$$

De la fórmula anterior, se obtuvo una cantidad de 11 placas de 2 mm de espesor de acuerdo con el tamaño de la celda (20 cm), cuya separación mínima fue de 0.5 cm y máxima de 1.5 cm.



Asimismo, las dimensiones de las placas se tomaron de acuerdo con el tamaño de la celda de electrocoagulación las cuales fueron 11 cm de alto por 8 cm de ancho para cada sistema.

Para la construcción de los sistemas de electrodos se utilizaron los siguientes materiales:

- Placa de acero inoxidable (2 mm)
- Ollas de aluminio (2 mm)
- Acrílico (4 mm)
- Vernier
- Regla
- Lapicero
- Espárragos de acero inoxidable (1/4")
- Tuercas de acero inoxidable (1/4")
- Llaves n° 11
- Martillo

Para la construcción del sistema de electrodos con acero inoxidable se comenzó cortando longitudinalmente la placa con la ayuda de una cortadora eléctrica, posteriormente se midió el ancho de las placas para realizar un corte transversal y así obtener las 11 placas, como se observa en la Figura 12.

Figura 12:

Cortado de placas de acero inoxidable



Para la construcción del sistema de electrodos con aluminio se procedió a cortar la olla con ayuda de una amoladora, para posteriormente sacar las asas y obtener una lámina, la cual se procedió a aplanar con ayuda una aplanadora mecánica de rodillos. Finalmente, con ayuda de un martillo se arreglaron algunas imperfecciones (Figura 13).

Figura 13:

Laminado de olla de aluminio



Teniendo ya la lámina de aluminio, se procedió a cortar las 11 placas en sus respectivas dimensiones con ayuda de una cortadora mecánica, como se observa en la Figura 14.

Figura 14:

Cortado de placas de aluminio

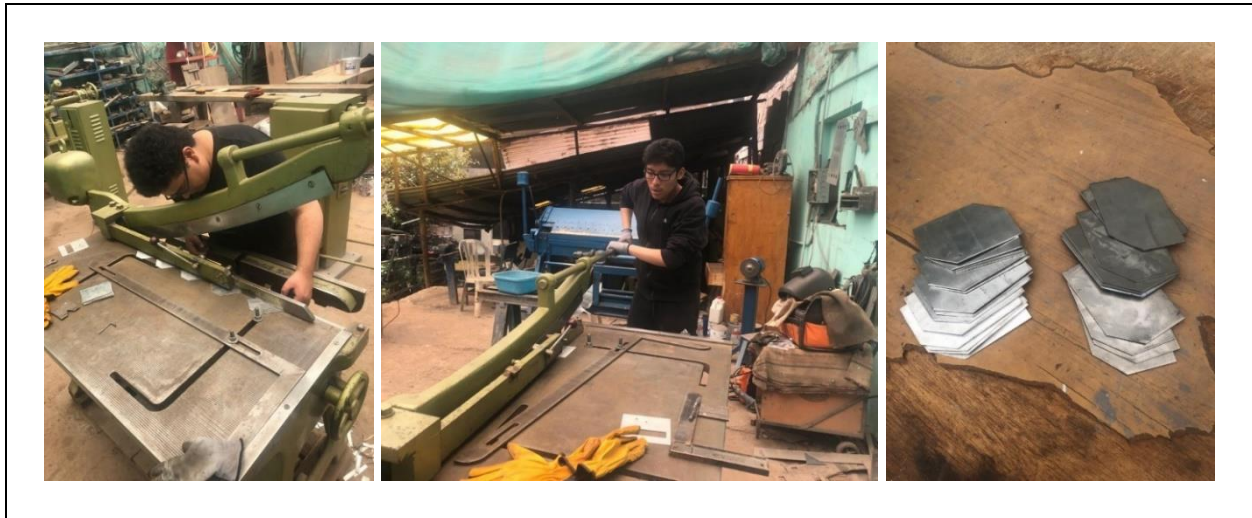


Una vez obtenidas las 22 placas (acero inoxidable y aluminio) se procedió a cortar dos de las cuatro esquinas opuestas de cada placa (3 cm desde la esquina de la placa), esto con el fin permitir el paso a los espárragos y así diferenciar ánodos y cátodos (Figura 15).



Figura 15:

Cortado final de placas



Teniendo listas las placas, se procedió a cortar el acrílico que conforma el sistema de electrodos como soporte, con el fin de manipularlo de mejor manera (Figura 16).

Figura 16:

Cortado de soportes



Finalmente, se solicitó los servicios de un tornero para ayudarnos con la perforación de placas, perforación de soportes de acrílico y cortado de espárragos, como se observa en la Figura 17.

Figura 17:

Sistemas de electrodos



3.5.3.2. Pruebas de Funcionamiento y Pruebas Preliminares

Las pruebas de funcionamiento consistieron en una serie de experimentos utilizando agua potable, esto con el fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema de electrocoagulación (Figura 18). Es así que se indujo corriente al sistema de electrodos con ayuda de un transformador de corriente el cual nos permitió variar tanto voltaje como amperaje.

Figura 18:

Prueba de funcionamiento de la celda de electrocoagulación



Una vez comprobado el correcto funcionamiento del sistema de electrocoagulación se comenzó con las pruebas preliminares, donde se usaron diferentes soluciones con alta carga orgánica, como: agua con tierra orgánica (Figura 19), agua residual del Camal de Calca (Figura 20) y agua residual del Camal de K'ayra (Figura 21).

Figura 19:

Prueba preliminar con agua con tierra orgánica

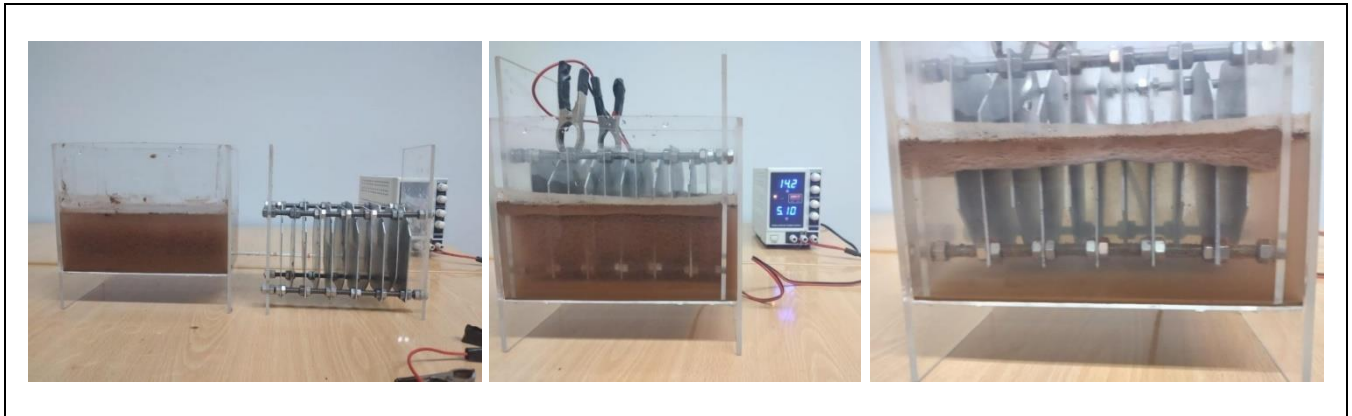


Figura 20:

Prueba preliminar con agua residual del Camal de Calca

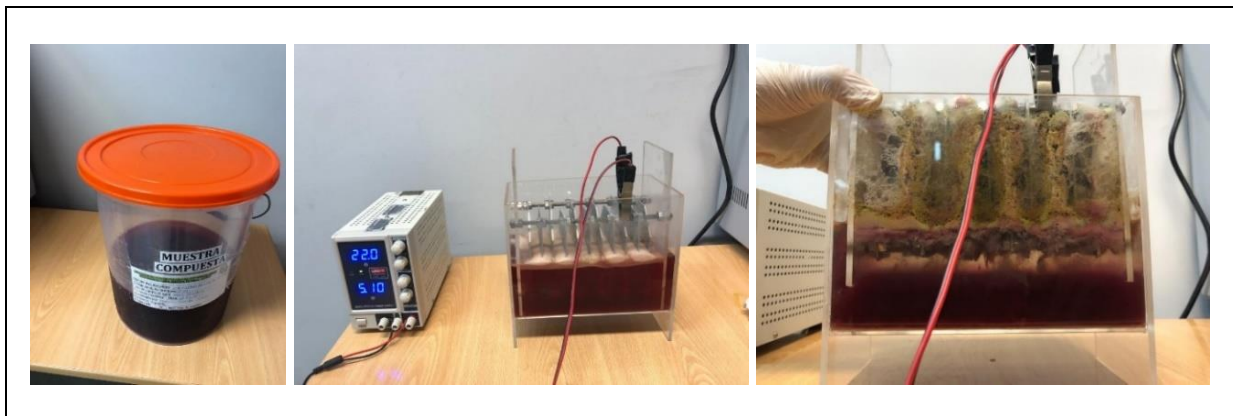
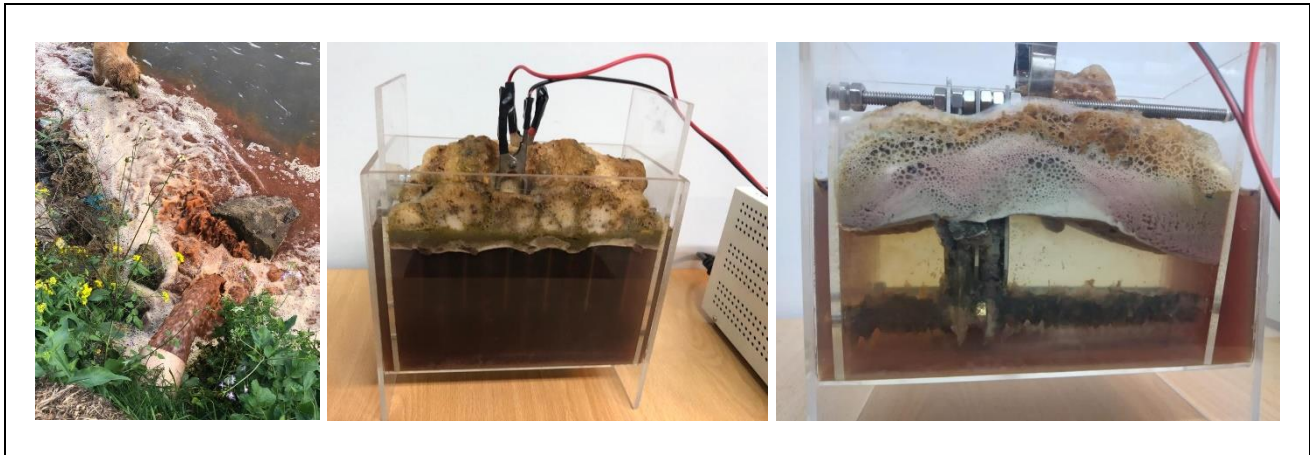




Figura 21:

Prueba preliminar con agua residual del Camal de K'ayra



Cabe mencionar, que las pruebas preliminares con el agua residual del Camal M. de K'ayra fueron llevadas al laboratorio para su respectivo análisis de carga orgánica (DBO_5 y DQO) y SST, donde se utilizó los factores de Material del Electrodo, Separación entre Electrodo y Número de Electrodo (Tabla 12), además de emplear un muestreo simple para la obtención del agua residual.

Posteriormente, se optó por trabajar solo con un parámetro (DQO), se modificó un factor (Separación entre Electrodo por Tiempo de Tratamiento) y se empleó un muestreo compuesto. Estos cambios se efectuaron con el fin de realizar una investigación más relevante y accesible.

3.5.3.3. Método de Muestreo

La toma de muestra se realizó con la finalidad de obtener una muestra representativa del efluente generado por el Camal M. de K'ayra, para lo cual se utilizó el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” (ANA, 2016). Así mismo, se hizo uso de los equipos e instrumentos necesarios para el muestreo, siendo estos los siguientes:

- Balde de 20 litros
- Balde de 15 litros
- 5 recipientes de 10 litros
- Jarra de 1 litro
- Registro de datos de campo
- Etiquetas para las muestras de agua
- Cadena de custodia



- Frasco
- Pizarra
- Plumón
- Lapiceros
- Registro de identificación de punto de monitoreo
- GPS
- Cronometro
- Hojas de cálculo

3.5.3.3.1. Selección y ubicación del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se identificó por el vertimiento directo del efluente al río Huatanay (Figura 22), tomando en consideración la codificación propuesta en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, como se observa en la Tabla 6:

Tabla 6:

Coordenadas de ubicación del punto de monitoreo

| UBICACIÓN | ALTITUD | COORDENADAS |
|-----------|-----------|-----------------------------|
| CKay-01 | 3189 msnm | 13°33'12" S 71° 52'28" O |

Figura 22:

Ubicación del punto de monitoreo





3.5.3.3.2. Tipo de muestra de agua

A partir de la visita al Camal M. de K'ayra (Anexo 09), se optó por recolectar una muestra de volumen proporcional durante las actividades de faenamiento por un periodo de 2 horas en intervalos de tiempo de 30 minutos. Este muestreo se repitió tres veces en tres diferentes días para cada replica considerando la siguiente fórmula para el cálculo de la alícuota:

$$Vi = \frac{V * Qi}{n * Qp}$$

Donde:

Vi: Volumen de cada alícuota o porción de muestra

V: Volumen total a componer

Qi: Caudal instantáneo medido en el momento de la toma de muestra

Qp: Caudal promedio durante el muestreo

n: Número de muestras tomadas

Así mismo, para el cálculo del caudal instantáneo (Q_i), se hizo uso del método volumétrico:

$$Q_i = V/t$$

Donde:

Qi: Caudal (L/s)

V: Volumen (L)

t: Tiempo (s)

En las Tablas 9, 10 y 11, se observan los datos concernientes a la cantidad de volumen de muestra a extraer de cada muestra simple recolectada durante el periodo de muestreo, mezclando en un mismo recipiente las alícuotas y efectuando la homogenización correspondiente con la finalidad de obtener la muestra compuesta para cada día (Figura 23).

Figura 23:

Homogeneización de muestra compuesta



3.5.3.3.3. Medición de parámetros en campo

Teniendo la muestra homogeneizada, se colocó la etiqueta respectiva y se llenó la cadena de custodia. Así mismo se registraron los parámetros in situ con ayuda del multiparámetro en cada día de muestreo (Tabla 8), como se observa en la Figura 24.

Figura 24:

Medición de parámetros in situ





3.5.3.3.4. Toma, preservación, almacenamiento y transporte de la muestra

Luego de la medición de parámetros, se llenó el frasco correspondiente para el análisis de DQO (500 mL añadiendo 15 gotas de H_2SO_4 al 50% como preservante) antes del proceso de electrocoagulación, esta muestra se colocó en un cooler con gel packs para mantener la cadena de frío, como indica el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, para cada día de muestreo (Figura 25). Finalmente, se limpiaron y guardaron los equipos e instrumentos y se trasladó la muestra al laboratorio de Ing. Ambiental UAC.

Figura 25:

Llenado y rotulado de muestras para laboratorio



3.5.3.4. Proceso de tratamiento: Electrocoagulación

Posterior al muestreo compuesto se trasladó la muestra al laboratorio de Ingeniería Ambiental – UAC donde se preparó la mesa de trabajo (Figura 26) con los equipos e instrumentos necesarios para el tratamiento por electrocoagulación (esto se realizó interdiario por tres días), siendo estos los siguientes:

- Celda de electrocoagulación y sistemas de electrodos
- Transformador de corriente
- Muestras de agua residual
- 2 jarras de 1 litro
- Jeringas de 100 mL
- Sonda
- Pizarra
- Plumón
- Lapicero
- Cooler
- Frascos (9 unidades por día)
- Gel packs
- Ácido sulfúrico al 50%



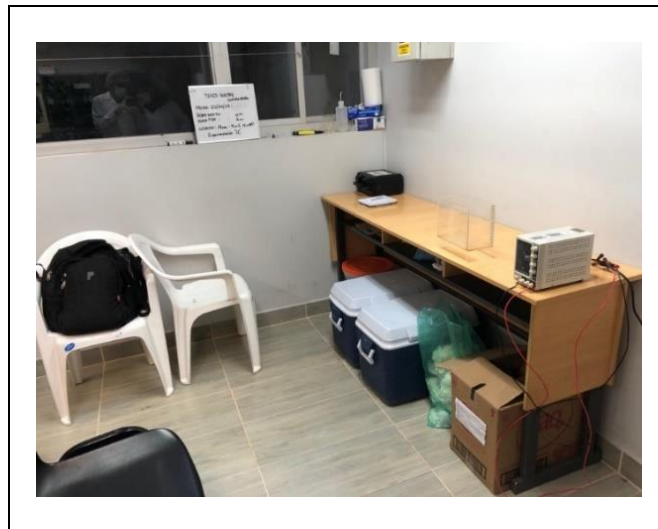
- Espátula
- 2 vasos de precipitado de 1 litro
- 2 vaso de precipitado de 500 mL
- Piseta
- Papel toalla
- Llaves n° 11
- Fichas de laboratorio
- Cadena de custodia
- Termómetro
- pH metro
- Turbidímetro
- Cronometro

Así mismo, se utilizaron los siguientes EPPs:

- Gorro de protección
- Cubrebocas
- Lentes de protección
- Bata de laboratorio
- Guantes quirúrgicos
- Zapato de seguridad

Figura 26:

Área de trabajo



Teniendo el área de trabajo definida, se iniciaron los experimentos tomando en cuenta la Tabla 5. Al momento de iniciar un experimento (2 litros en cada caso) como se observa en la Figura 27, se utilizó la pizarra para registrar la hora de inicio y fin, la fecha y código; así como, el amperaje y voltaje en la ficha de laboratorio (Figura 28).

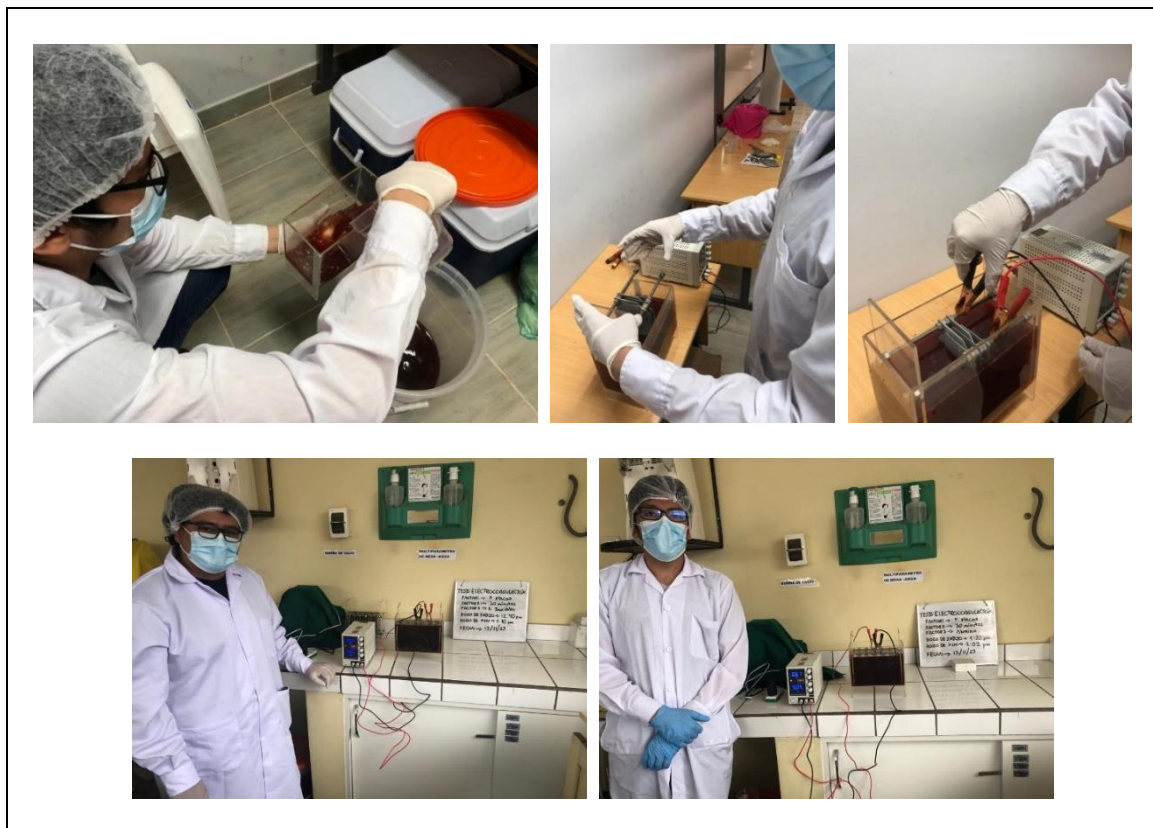
Figura 27:

Registro de datos antes de la experimentación



Figura 28:

Llenado de celda e inicio de la experimentación



Durante la experimentación se pudo apreciar que ciertos experimentos presentaban excesiva cantidad de espumas (los cuales se retiraron con ayuda de una espátula y jarra)

o exceso de sedimentos; estas observaciones se registraron en la ficha de laboratorio (Figura 29).

Figura 29:

Remoción de espumas



Al culminar un experimento, se hizo uso de las jeringas con la sonda para la extracción del agua tratada el cual se colocó en los vasos de precipitado de 1 litro (Figura 30), donde se procedió a medir y adjuntar los parámetros de temperatura (Figura 31), pH (Figura 32) y turbidez (Figura 33) con ayuda del termómetro, pH metro y turbidímetro respectivamente. Mientras tanto, se limpió y seco minuciosamente los sistemas de electros y la celda de electrocoagulación para mover y/o quitar algunos electrodos con ayuda de las llaves y así empezar el siguiente experimento hasta completar las 8 experimentaciones (Figura 34).

Figura 30:

Extracción de muestra tratada



Figura 31:

Medición de temperatura después del tratamiento

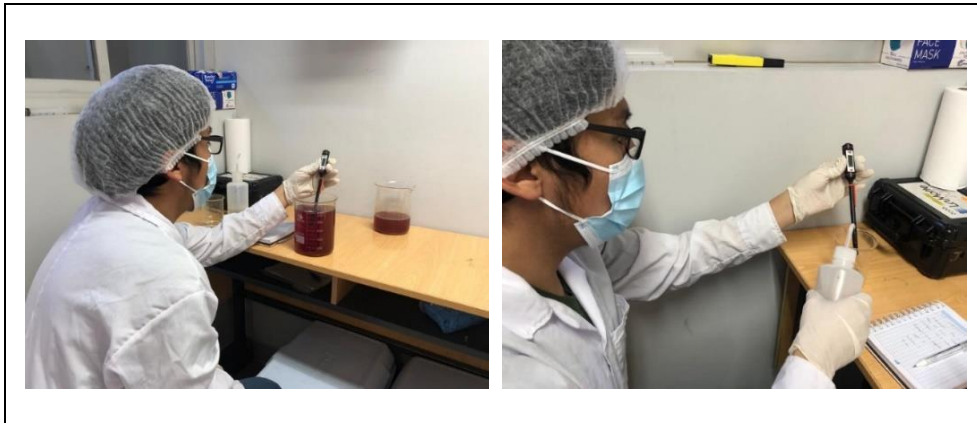


Figura 32:

Medición del pH después del tratamiento



Figura 33:

Medición de la turbidez después del tratamiento



Figura 34:

Lavado y configuración del sistema de electrodos



Finalmente, se llenaron los frascos (500 mL) colocando el número de experimentación, fecha y hora para luego ser colocados en el cooler (con 15 gotas de ácido sulfúrico cada frasco) como se observa en la Figura 35 y posteriormente ser trasladados al Laboratorio Louis Pasteur para su respectivo análisis de DQO (Figura 36).

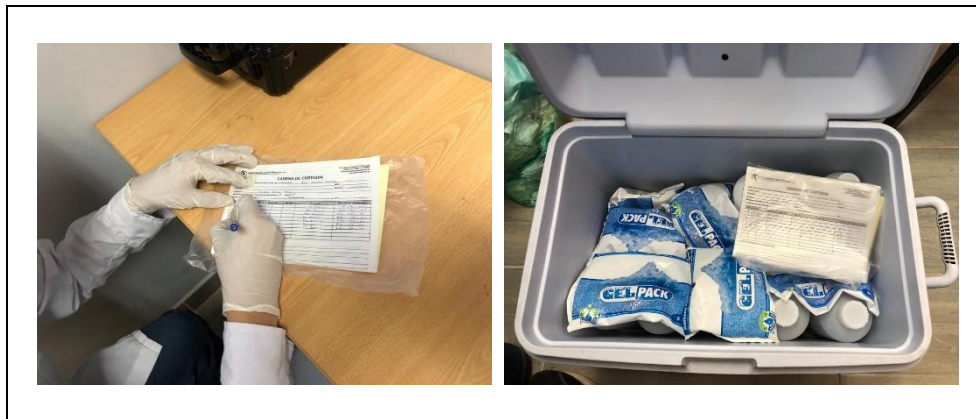
Figura 35:

Llenado y rotulado de muestras



Figura 36:

Llenado de cadena de custodia y transporte de muestras



3.6. Validez y Confiabilidad de Instrumentos

Para las fichas de recolección de datos, se hizo uso del “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” elaborado por la ANA; donde, en los Anexos I, II, III y IV, se muestran los instrumentos ya establecidos y validados.

Para el reporte de laboratorio, se solicitó los servicios del Laboratorio Louis Pasteur S.R. Ltda., el cual se encuentra acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), para la evaluación y emisión de resultados químicos (DQO) de las muestras de las aguas residuales del Camal Municipal de K’ayra.

Las fichas de laboratorio (propiamente elaboradas), fueron revisadas y validadas por profesionales calificados de la Universidad Andina del Cusco.

3.7. Plan de Análisis de Datos

Los resultados obtenidos fueron ingresados a los programas Microsoft Excel y Minitab 18, para evaluar e interpretar dichos resultados mediante gráficas, así mismo, se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA), grafico de efectos principales, diagrama de Pareto, análisis de normalidad, prueba de Levene y prueba de U de Mann Whitney.



Tabla 7:

Plan de análisis de datos

| PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS | | |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Nivel | HIPÓTESIS A PROBAR | MEDIO |
| H. General | El proceso de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable tiene mayor eficiencia que los electrodos de aluminio en la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra. | % de reducción y análisis estadístico |
| H. Especifica 1 | La concentración DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra antes del proceso de electrocoagulación excede los LMP en los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería. | Análisis de laboratorio |
| H. Especifica 2 | La construcción de la celda de electrocoagulación, a escala de laboratorio, que permita las condiciones óptimas de operación (volumen de muestra y amperaje) para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra es un prisma rectangular de acrílico, con una capacidad de 2 litros y un amperaje de 10 amperios. | Pruebas de funcionamiento |
| H. Especifica 3 | La concentración de contaminantes de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra después del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio cumple con los LMP en los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería. | Análisis de laboratorio |



CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Resultados Exploratorios

4.1.1. Parámetros In Situ

En la Tabla 8, se observa los datos obtenidos de la medición de los parámetros in situ en el punto de muestreo CKay – 01.

Tabla 8:

Parámetros in situ

| DÍAS | PARÁMETROS | | |
|-------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| | pH (Und. pH) | Temperatura (°C) | Turbidez (NTU) |
| Primer día | 7.60 | 22.90 | 903.30 |
| Segundo día | 7.60 | 20.10 | 969.00 |
| Tercer día | 7.70 | 23.30 | 909.00 |

4.1.2. Cálculo de Alícuotas

Tabla 9:

Cálculo de volumen de cada alícuota – Primer día

| Nº MEDICIÓN | HORA | TIEMPO (S) | VOLUMEN (L) | Qi (L/S) | ALÍCUOTA (L) | OBSERVACIONES |
|---------------------------------|-------|---------------|----------------|-------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | 09:15 | 15.02 | 15 | 1.0 | 1.3 | Color de muestra rojo sangre |
| 2 | 09:45 | 30.13 | 15 | 0.5 | 0.7 | Color de muestra marrón |
| 3 | 10:15 | 2.29 | 15 | 6.6 | 8.8 | Color de muestra ocre |
| 4 | 10:45 | 23.93 | 15 | 0.6 | 0.8 | Color de muestra rojo sangre |
| 5 | 11:15 | 2.39 | 15 | 6.3 | 8.4 | Color de muestra ocre |
| CAUDAL PROMEDIO | | | | | 3 L/s | - |
| VOLUMEN TOTAL A COMPONER | | | | | 20.0 L | - |



La Tabla 9 muestra la variabilidad del caudal, puesto que, se registró un caudal mínimo de 0.5 L/s y un caudal máximo de 6.6 L/s, llegando a obtener un caudal promedio de 3 L/s en un periodo de muestreo de 2 horas precisamente durante las actividades de faenamiento.

Tabla 10:

Cálculo de volumen de cada alícuota – Segundo día

| Nº MEDICIÓN | HORA | TIEMPO (S) | VOLUMEN (L) | Qi (L/S) | ALÍCUOTA (L) | OBSERVACIONES |
|---------------------------------|-------|---------------|----------------|-------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | 09:10 | 21.31 | 15 | 0.7 | 1.8 | Color de muestra rojo sangre |
| 2 | 09:40 | 14.81 | 15 | 1.0 | 2.6 | Color de muestra rojo sangre |
| 3 | 10:10 | 7.35 | 15 | 2.0 | 5.3 | Color de muestra ocre |
| 4 | 10:40 | 14.28 | 15 | 1.1 | 2.7 | Color de muestra rojo sangre |
| 5 | 11:10 | 5.1 | 15 | 2.9 | 7.6 | Color de muestra ocre |
| CAUDAL PROMEDIO | | | | | 1.54 L/s | - |
| VOLUMEN TOTAL A COMPONER | | | | | 20.0 L | - |

La Tabla 10 muestra la variabilidad del caudal, puesto que, se registró un caudal mínimo de 0.7 L/s y un caudal máximo de 2.9 L/s, llegando a obtener un caudal promedio de 1.54 L/s en un periodo de muestreo de 2 horas precisamente durante las actividades de faenamiento.



Tabla 11:

Cálculo de volumen de cada alícuota – Tercer día

| Nº MEDICIÓN | HORA | TIEMPO (S) | VOLUMEN (L) | Qi (L/S) | ALÍCUOTA (L) | OBSERVACIONES |
|---------------------------------|-------|------------|-------------|----------|--------------|--------------------------------|
| 1 | 09:05 | 52.9 | 15 | 0.3 | 0.4 | Color de muestra rojo sangre |
| 2 | 09:35 | 3.53 | 15 | 4.2 | 5.7 | Color de muestra rojo ladrillo |
| 3 | 10:05 | 3.9 | 15 | 3.8 | 5.2 | Color de muestra rojo ladrillo |
| 4 | 10:35 | 6.32 | 15 | 2.4 | 3.2 | Color de muestra ocre |
| 5 | 11:05 | 3.69 | 15 | 4.1 | 5.5 | Color de muestra ocre |
| CAUDAL PROMEDIO | | | | | 2.96 L/s | - |
| VOLUMEN TOTAL A COMPONER | | | | | 20.0 L | - |

La Tabla 11 muestra la variabilidad del caudal, puesto que, se registró un caudal mínimo de 0.3 L/s y un caudal máximo de 4.2 L/s, llegando a obtener un caudal promedio de 2.96 L/s en un periodo de muestreo de 2 horas precisamente durante las actividades de faenamiento.

4.1.3. Pruebas Preliminares

Tabla 12:

Resultados de las pruebas preliminares

| FACTORES | | | PARÁMETROS | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------------|------------|------------|------------|
| MATERIAL DE ELECTRODOS | SEPARACIÓN DE ELECTRODOS | NÚMERO DE ELECTRODOS | DBO (mg/L) | DQO (mg/L) | SST (mg/L) |
| | Camal M. de K'ayra | | 1827,73 | 3658,96 | 603,33 |
| Acero Inoxidable | 1.5 cm | 11 | 182,11 | 350,60 | 150,00 |
| | 0.5 cm | 11 | 162,24 | 318,73 | 63,33 |
| | 1.0 cm | 8 | 89,07 | 114,74 | 103,33 |
| | 1.0 cm | 8 | 298,00 | 341,72 | 76,00 |
| | 1.5 cm | 5 | 101,32 | 319,36 | 24,00 |
| | 0.5 cm | 5 | 162,24 | 319,36 | 38,00 |



| | | | | | |
|-----------------|--------|----|--------|---------|--------|
| Aluminio | 1.5 cm | 11 | 118,54 | 229,48 | 110,00 |
| | 0.5 cm | 11 | 427,13 | 860,56 | 138,75 |
| | 1.0 cm | 8 | 456,93 | 603,59 | 80,00 |
| | 1.0 cm | 8 | 427,13 | 846,31 | 116,67 |
| | 1.5 cm | 5 | 251,64 | 463,07 | 106,00 |
| | 0.5 cm | 5 | 532,43 | 1245,51 | 230,00 |

Los resultados de las pruebas preliminares con el agua residual del Camal de K'ayra mostraron una reducción significativa de la carga orgánica (DBO₅ y DQO) y SST.

4.2. Resultados respecto a los Objetivos Específicos

a) Determinar la concentración de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra antes del proceso de electrocoagulación

Se logró determinar la concentración de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra (CKay-01) antes del proceso de electrocoagulación, dando como resultado los siguientes datos:

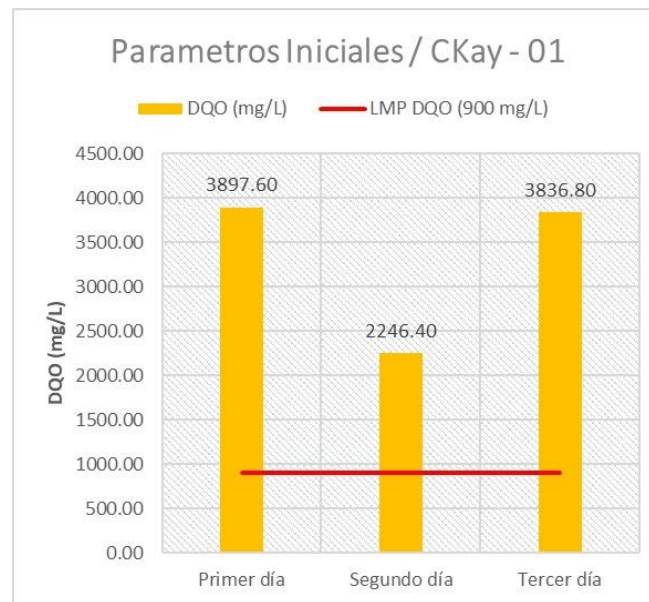
Tabla 13:

Concentraciones iniciales de DQO

| PARÁMETRO | PRIMER DÍA | SEGUNDO DÍA | TERCER DÍA | LMP | METODOLOGÍA |
|------------|------------|-------------|------------|-----|--|
| DQO (mg/L) | 3897.60 | 2246.40 | 3836.80 | 900 | SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017) |

Figura 37:

Concentraciones iniciales de DQO



En la Tabla 13 y en la Figura 37 se muestran las concentraciones iniciales de DQO de las diferentes muestras compuestas, estos resultados exceden los LMP en los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA).

Cabe mencionar que, la normativa antes mencionada fue empleada como referencia en esta investigación debido a que la normativa ambiental peruana cuenta solamente con una propuesta de Límites Máximos Permisibles para efluentes de actividades agroindustriales, la cual no llegó a ser aprobada por el MINAM.

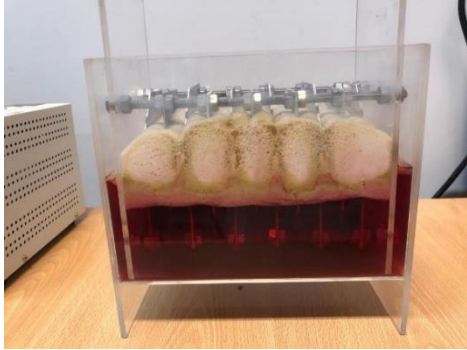
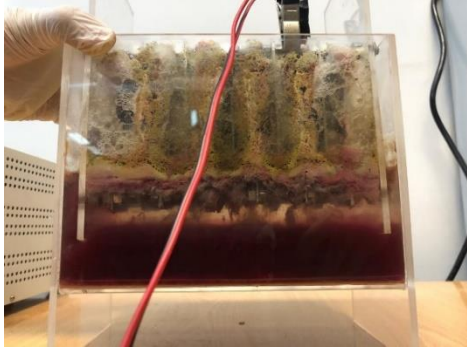

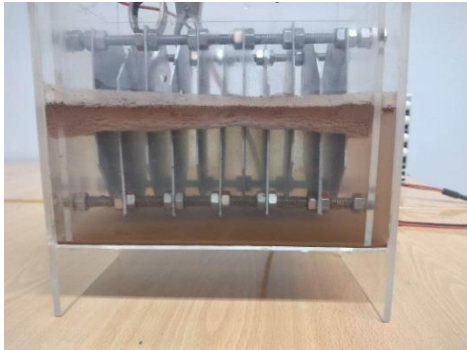
- b) Construir una celda de electrocoagulación, a escala de laboratorio, que permita las condiciones óptimas de operación (volumen de muestra y amperaje) para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.**

Se logró construir una celda de electrocoagulación a escala de laboratorio, la cual permitió realizar una experimentación adecuada teniendo en cuenta el volumen de muestra y amperaje para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.

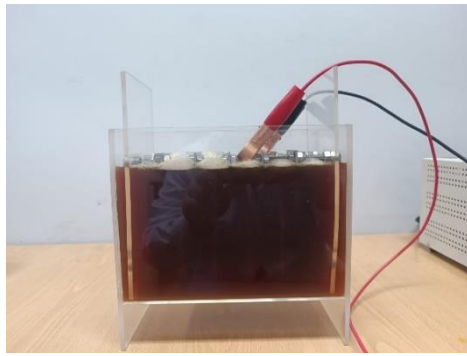
En primer lugar, se realizaron pruebas pre experimentales para determinar el volumen de agua a tratar variando entre 1, 1.5 y 2 litros.

Figura 38:

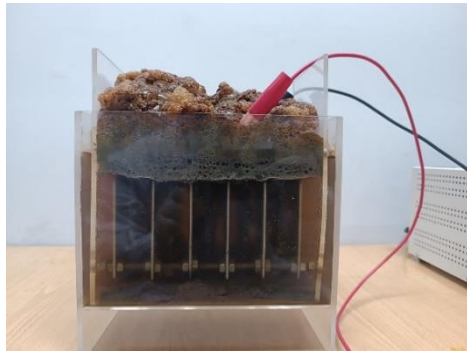
Determinación del volumen

| | |
|---|---|
| <p>Antes:</p>  <p>Después:</p>  | <p>Para la prueba de 1 litro, se pudo apreciar una floculación desde los 10 minutos hasta los 30 minutos. Sin embargo, la generación de espumas reducía el volumen inicial en un 20% aproximadamente.</p> |
| <p>Antes:</p>  <p>Después:</p>  | <p>Para la prueba de 1.5 litros, se pudo apreciar una floculación desde los 20 minutos hasta los 40 minutos. En este caso la generación de espumas fue mínima ya que se trató agua con tierra orgánica.</p> |

Antes:



Después:



Para la prueba de 2 litros, se pudo apreciar una floculación desde los 30 minutos hasta los 60 minutos. No obstante, la generación de espumas reducía el volumen inicial en un 20% aproximadamente.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos en la Figura 38 e ítem 3.5.3.1. Construcción de la celda de electrocoagulación y sistemas de electrodos, se determinó utilizar 2 litros de muestra de agua residual para la construcción de la celda de electrocoagulación, así como, un amperaje de 5A puesto que, es el amperaje máximo que puede alcanzar el equipo (Figura 39).

Figura 39:

Transformador de corriente 0 - 5 amperios





- c) **Determinar la concentración de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra después del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio.**

Se logró determinar las concentraciones de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra después del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio, teniendo así los siguientes resultados:

Tabla 14:

Resultados de reducción de DQO post tratamiento – Primer día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|------------------------------|-------------------|
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | DQO Antes del Tratamiento (mg / L) | DQO Después del Tratamiento (mg / L) | % de Reducción de DQO | LMP (mg/L) |
| 1 | 30 | 11 | 3897.60 | 1486.40 | 61.86 | 900 |
| 2 | 30 | 5 | 3897.60 | 1889.60 | 51.52 | 900 |
| 3 | 60 | 11 | 3897.60 | 1536.00 | 60.59 | 900 |
| 4 | 60 | 5 | 3897.60 | 748.80 | 80.79 | 900 |
| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | | |
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | DQO Antes del Tratamiento (mg / L) | DQO Después del Tratamiento (mg / L) | % de Reducción de DQO | LMP (mg/L) |
| 1 | 30 | 11 | 3897.60 | 2496 | 35.96 | 900 |
| 2 | 30 | 5 | 3897.60 | 2412 | 38.12 | 900 |
| 3 | 60 | 11 | 3897.60 | 2018 | 48.27 | 900 |
| 4 | 60 | 5 | 3897.60 | 1008 | 74.14 | 900 |

En la Tabla 14 se observa los resultados de los experimentos realizados el primer día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de DQO.



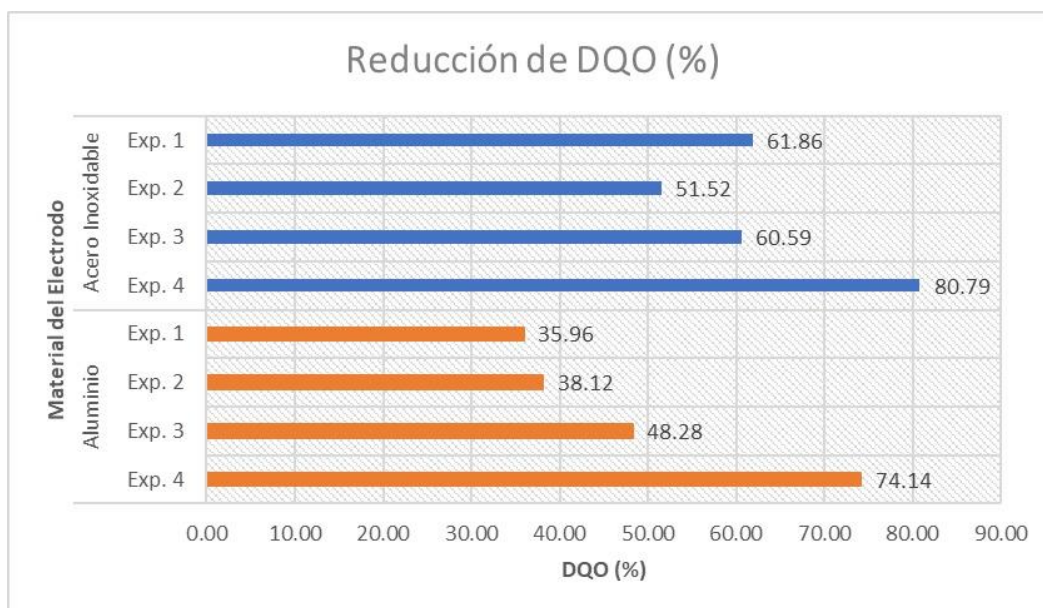
El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue la n° 4, con un valor final de 748.80 mg/L de DQO, mientras que, el experimento n° 2 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 1889.60 mg/L.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue la n° 4, con un valor final de 1008.00 mg/L de DQO, mientras que, el experimento n° 1 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 2496.00 mg/L.

Cabe mencionar que, solo el experimento n° 4 con sistema de electrodos con acero inoxidable cumple con el valor definido en el LMP de vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA).

Figura 40:

Resultados del porcentaje de reducción de DQO – Primer día



En la Figura 40 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de DQO el primer día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue el experimento n° 4, con un porcentaje de reducción del 80.79% de DQO, mientras que, el experimento n° 2 tuvo la reducción más baja con un 51.52%.



El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue el experimento n° 4, con un porcentaje de reducción del 74.14% de DQO, mientras que, el experimento n° 1 tuvo la reducción más baja con un 35.96%.

Tabla 15:

Resultados de incremento de Temperatura post tratamiento – Primer día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| N° Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electrodo (Und.) | Temperatura Antes del Tratamiento (°C) | Temperatura Después del Tratamiento (°C) | % de Incremento de Temperatura |
| 1 | 30 | 11 | 22.90 | 26.30 | 14.85 |
| 2 | 30 | 5 | 22.90 | 28.60 | 24.89 |
| 3 | 60 | 11 | 22.90 | 30.50 | 33.19 |
| 4 | 60 | 5 | 22.90 | 36.80 | 60.70 |

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| N° Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electrodo (Und.) | Temperatura Antes del Tratamiento (°C) | Temperatura Después del Tratamiento (°C) | % de Incremento de Temperatura |
| 1 | 30 | 11 | 22.90 | 28.50 | 24.45 |
| 2 | 30 | 5 | 22.90 | 29.10 | 27.07 |
| 3 | 60 | 11 | 22.90 | 34.80 | 51.97 |
| 4 | 60 | 5 | 22.90 | 41.80 | 82.53 |

En la Tabla 15 se observa los resultados de los experimentos realizados el primer día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de temperatura.

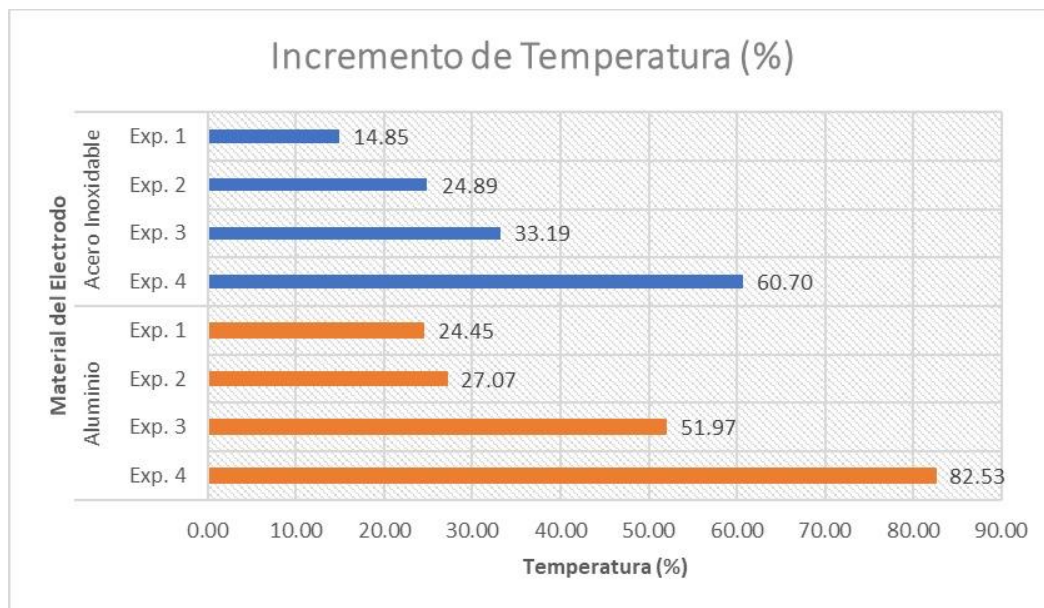
El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un valor final de 26.30°C, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento con un valor final de 36.80°C.



El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un valor final de 28.50°C, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento con un valor final de 41.80°C.

Figura 41:

Resultados del porcentaje de incremento de Temperatura – Primer día



En la Figura 41 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de temperatura el primer día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un porcentaje de 14.85%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 60.70%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un porcentaje de 24.45%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 82.53%.



Tabla 16:

Resultados de incremento de pH post tratamiento – Primer día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------|
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | pH Antes del Tratamiento | pH Después del Tratamiento | % de Incremento de pH | LMP |
| 1 | 30 | 11 | 7.60 | 11.90 | 56.58 | 6.00 - 9.00 |
| 2 | 30 | 5 | 7.60 | 10.80 | 42.11 | 6.00 - 9.00 |
| 3 | 60 | 11 | 7.60 | 12.10 | 59.21 | 6.00 - 9.00 |
| 4 | 60 | 5 | 7.60 | 11.80 | 55.26 | 6.00 - 9.00 |
| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | | |
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | pH Antes del Tratamiento | pH Después del Tratamiento | % de Incremento de pH | LMP |
| 1 | 30 | 11 | 7.60 | 8.40 | 10.53 | 6.00 - 9.00 |
| 2 | 30 | 5 | 7.60 | 8.70 | 14.47 | 6.00 - 9.00 |
| 3 | 60 | 11 | 7.60 | 8.40 | 10.53 | 6.00 - 9.00 |
| 4 | 60 | 5 | 7.60 | 9.30 | 22.37 | 6.00 - 9.00 |

En la Tabla 16 se observa los resultados de los experimentos realizados el primer día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de pH.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 2, con un valor final de 10.80, mientras que, el experimento n° 3 tuvo el mayor incremento con un valor final de 12.10.

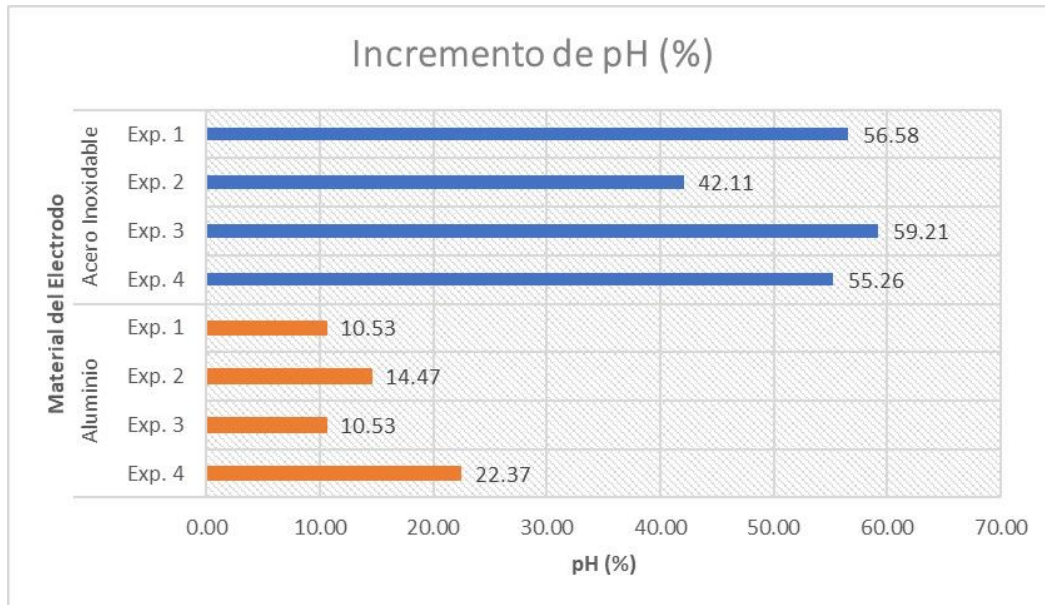
Los experimentos con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de pH fueron los experimentos n° 1 y n° 3, con un valor final de 8.40, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento con un valor final de 9.30.



Cabe mencionar que, los experimentos n° 1, n° 2 y n° 3 con sistema de electrodos con aluminio cumplen con el valor definido en el LMP de vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA).

Figura 42:

Resultados del porcentaje de incremento de pH – Primer día



En la Figura 42 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de pH el primer día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 2, con un porcentaje de 42.11%, mientras que, el experimento n° 3 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 59.21%.

Los experimentos con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de pH fueron los experimentos n° 1 y n° 3, con un porcentaje de 10.53%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 22.37%.



Tabla 17:

Resultados de reducción de Turbidez post tratamiento – Primer día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|-----------------------------------|
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | Turbidez Antes del Tratamiento (NTU) | Turbidez Después del Tratamiento (NTU) | % de Reducción de Turbidez |
| 1 | 30 | 11 | 903.30 | 39.70 | 95.61 |
| 2 | 30 | 5 | 903.30 | 27.00 | 97.01 |
| 3 | 60 | 11 | 903.30 | 42.60 | 95.28 |
| 4 | 60 | 5 | 903.30 | 43.00 | 95.24 |
| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | |
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | Turbidez Antes del Tratamiento (NTU) | Turbidez Después del Tratamiento (NTU) | % de Reducción de Turbidez |
| 1 | 30 | 11 | 903.30 | 39.60 | 95.62 |
| 2 | 30 | 5 | 903.30 | 18.60 | 97.94 |
| 3 | 60 | 11 | 903.30 | 44.00 | 95.13 |
| 4 | 60 | 5 | 903.30 | 26.50 | 97.07 |

En la Tabla 17 se observa los resultados de los experimentos realizados el primer día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de turbidez.

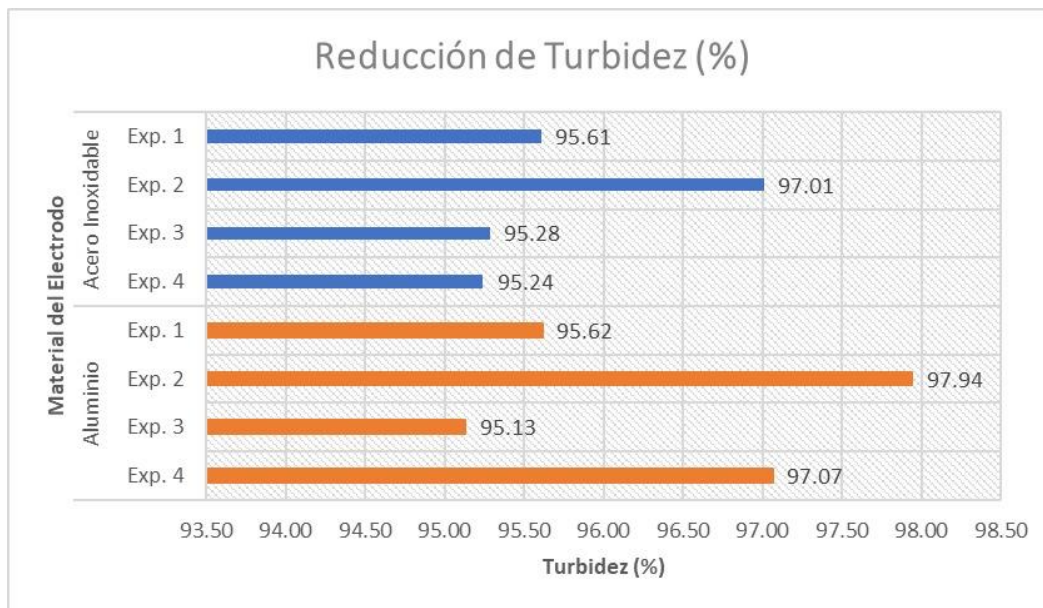
El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue la n° 2, con un valor final de 22.00 NTU, mientras que, el experimento n° 4 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 43.00 NTU.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue la n° 2, con un valor final de 18.60 NTU, mientras que, el experimento n° 3 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 44.00 NTU.



Figura 43:

Resultados del porcentaje de reducción de Turbidez – Primer día



En la Figura 43 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de turbidez el primer día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue el experimento n° 2, con un porcentaje de reducción del 97.01%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo la reducción más baja con un 95.24%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue el experimento n° 2, con un porcentaje de reducción del 97.94%, mientras que, el experimento n° 3 tuvo la reducción más baja con un 95.13%.



Tabla 18:

Resultados de reducción de DQO post tratamiento – Segundo día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|------------------------------|-------------------|
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | DQO Antes del Tratamiento (mg / L) | DQO Después del Tratamiento (mg / L) | % de Reducción de DQO | LMP (mg/L) |
| 1 | 30 | 11 | 2246.40 | 809.60 | 63.96 | 900 |
| 2 | 30 | 5 | 2246.40 | 880.00 | 60.83 | 900 |
| 3 | 60 | 11 | 2246.40 | 518.40 | 76.92 | 900 |
| 4 | 60 | 5 | 2246.40 | 585.60 | 73.93 | 900 |
| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | | |
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | DQO Antes del Tratamiento (mg / L) | DQO Después del Tratamiento (mg / L) | % de Reducción de DQO | LMP (mg/L) |
| 1 | 30 | 11 | 2246.40 | 1196.80 | 46.72 | 900 |
| 2 | 30 | 5 | 2246.40 | 1248.00 | 44.44 | 900 |
| 3 | 60 | 11 | 2246.40 | 960.00 | 57.26 | 900 |
| 4 | 60 | 5 | 2246.40 | 752.00 | 66.52 | 900 |

En la Tabla 18 se observa los resultados de los experimentos realizados el segundo día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de DQO.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue la n° 3, con un valor final de 518.40 mg/L de DQO, mientras que, el experimento n° 2 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 880.00 mg/L.

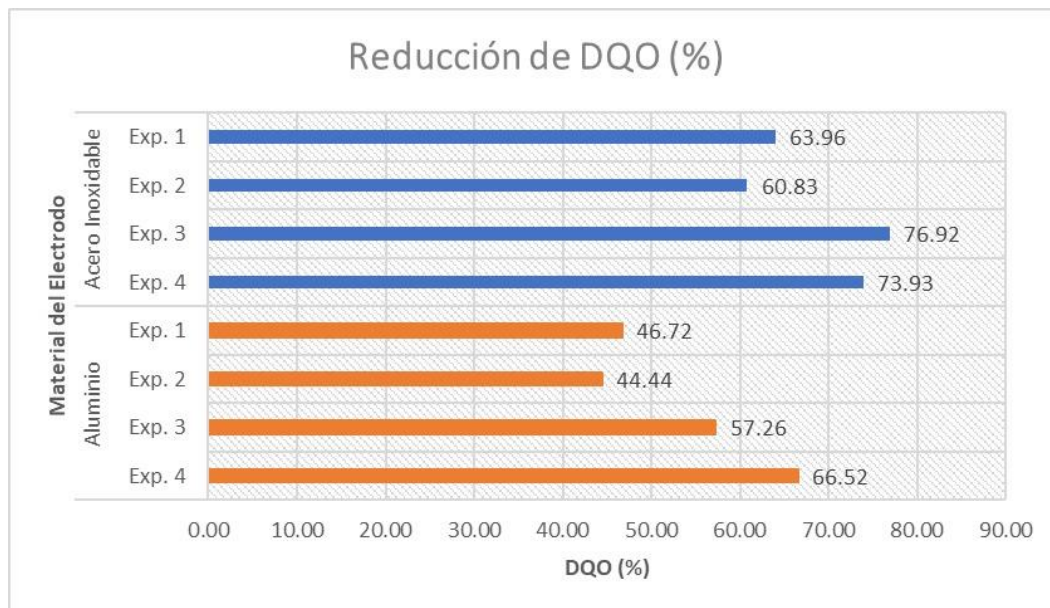
El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue la n° 4, con un valor final de 752.00 mg/L de DQO, mientras que, el experimento n° 1 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 1196.80 mg/L.



Cabe mencionar que, todos los experimentos con el sistema de electrodos con acero inoxidable y el experimento n° 4 con electrodos de aluminio cumplen con el valor definido en el LMP de vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA).

Figura 44:

Resultados del porcentaje de reducción de DQO – Segundo día



En la Figura 44 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de DQO el primer día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue el experimento n° 3, con un porcentaje de reducción del 76.92% de DQO, mientras que, el experimento n° 2 tuvo la reducción más baja con un 60.83%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue el experimento n° 4, con un porcentaje de reducción del 66.52% de DQO, mientras que, el experimento n° 2 tuvo la reducción más baja con un 44.44%.



Tabla 19:

Resultados de incremento de Temperatura post tratamiento – Segundo día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| N° Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electrodo (Und.) | Temperatura Antes del Tratamiento (°C) | Temperatura Después del Tratamiento (°C) | % de Incremento de Temperatura |
| 1 | 30 | 11 | 20.10 | 23.90 | 18.91 |
| 2 | 30 | 5 | 20.10 | 27.60 | 37.31 |
| 3 | 60 | 11 | 20.10 | 28.90 | 43.78 |
| 4 | 60 | 5 | 20.10 | 34.40 | 71.14 |

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| N° Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electrodo (Und.) | Temperatura Antes del Tratamiento (°C) | Temperatura Después del Tratamiento (°C) | % de Incremento de Temperatura |
| 1 | 30 | 11 | 20.10 | 25.90 | 28.86 |
| 2 | 30 | 5 | 20.10 | 30.60 | 52.24 |
| 3 | 60 | 11 | 20.10 | 25.40 | 26.37 |
| 4 | 60 | 5 | 20.10 | 38.30 | 90.55 |

En la Tabla 19 se observa los resultados de los experimentos realizados el segundo día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de temperatura.

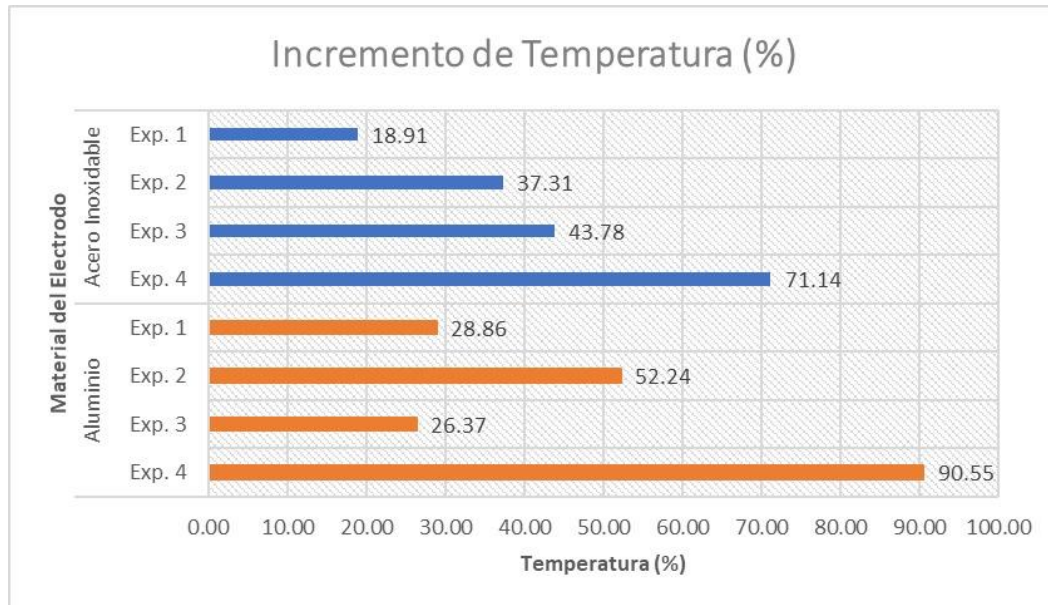
El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un valor final de 23.90°C, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento con un valor final de 34.40°C.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 3, con un valor final de 25.40°C, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento con un valor final de 38.30°C.



Figura 45:

Resultados del porcentaje de incremento de Temperatura – Segundo día



En la Figura 45 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de temperatura el segundo día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un porcentaje de 18.91%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 71.14%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 3, con un porcentaje de 26.37%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 90.55%.



Tabla 20:

Resultados de incremento de pH post tratamiento – Segundo día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------|
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | pH Antes del Tratamiento | pH Después del Tratamiento | % de Incremento de pH | LMP |
| 1 | 30 | 11 | 7.60 | 11.80 | 55.26 | 6.00 - 9.00 |
| 2 | 30 | 5 | 7.60 | 11.00 | 44.74 | 6.00 - 9.00 |
| 3 | 60 | 11 | 7.60 | 12.00 | 57.89 | 6.00 - 9.00 |
| 4 | 60 | 5 | 7.60 | 11.90 | 56.58 | 6.00 - 9.00 |
| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | | |
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | pH Antes del Tratamiento | pH Después del Tratamiento | % de Incremento de pH | LMP |
| 1 | 30 | 11 | 7.60 | 9.00 | 18.42 | 6.00 - 9.00 |
| 2 | 30 | 5 | 7.60 | 9.10 | 19.74 | 6.00 - 9.00 |
| 3 | 60 | 11 | 7.60 | 8.50 | 11.84 | 6.00 - 9.00 |
| 4 | 60 | 5 | 7.60 | 9.40 | 23.68 | 6.00 - 9.00 |

En la Tabla 20 se observa los resultados de los experimentos realizados el segundo día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de pH.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 2, con un valor final de 11.00, mientras que, el experimento n° 3 tuvo el mayor incremento con un valor final de 12.00.

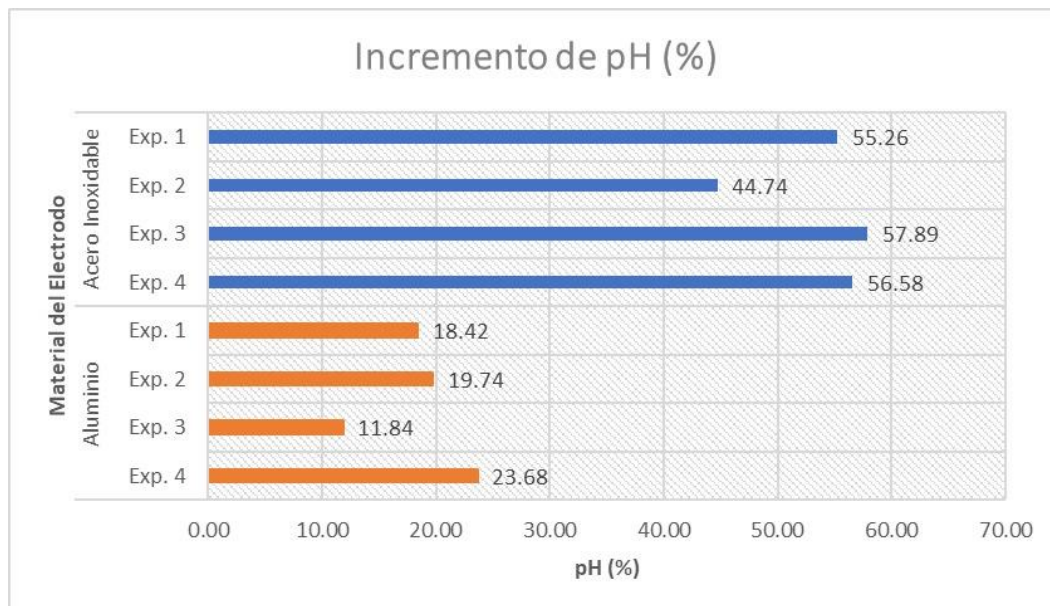
El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 3, con un valor final de 8.50, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento con un valor final de 9.40.



Cabe mencionar que, los experimentos n° 1 y n° 3 con sistema de electrodos con aluminio cumplen con el valor definido en el LMP de vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA).

Figura 46:

Resultados del porcentaje de incremento de pH – Segundo día



En la Figura 46 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de pH el segundo día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 2, con un porcentaje de 44.74%, mientras que, el experimento n° 3 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 57.89%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 3, con un porcentaje de 11.84%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 23.68%.



Tabla 21:

Resultados de reducción de Turbidez post tratamiento – Segundo día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | |
|---|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Nº | Tiempo de | Número de | Turbidez | Turbidez | % de |
| Experimento | Tratamiento | Electrodos | Antes del | Después del | Reducción |
| | (Min.) | (Und.) | Tratamiento | Tratamiento | de |
| | | | (NTU) | (NTU) | Turbidez |
| 1 | 30 | 11 | 969.00 | 41.50 | 95.72 |
| 2 | 30 | 5 | 969.00 | 42.60 | 95.60 |
| 3 | 60 | 11 | 969.00 | 48.80 | 94.96 |
| 4 | 60 | 5 | 969.00 | 43.50 | 95.51 |
| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | |
| Nº | Tiempo de | Número | Turbidez | Turbidez | % de |
| Experimento | Tratamiento | de | Antes del | Después del | Reducción |
| | (Min.) | Electrodos | Tratamiento | Tratamiento | de Turbidez |
| | | (Und.) | (NTU) | (NTU) | |
| 1 | 30 | 11 | 969.00 | 12.20 | 98.74 |
| 2 | 30 | 5 | 969.00 | 33.20 | 96.57 |
| 3 | 60 | 11 | 969.00 | 40.40 | 95.83 |
| 4 | 60 | 5 | 969.00 | 19.60 | 97.98 |

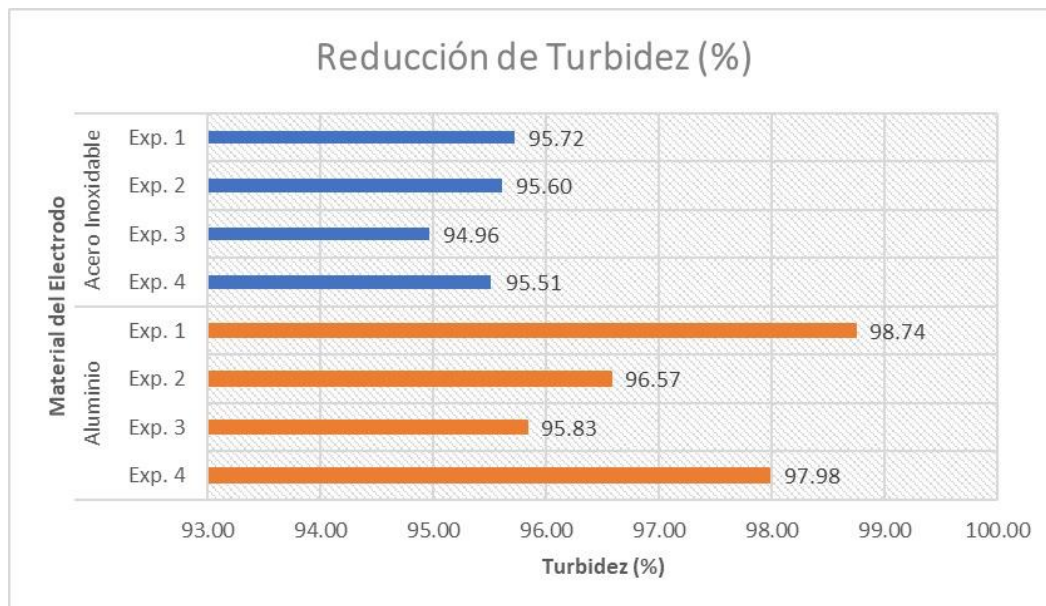
En la Tabla 21 se observa los resultados de los experimentos realizados el segundo día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de turbidez.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue la n° 1, con un valor final de 41.50 NTU, mientras que, el experimento n° 3 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 48.80 NTU.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue la n° 1, con un valor final de 12.20 NTU, mientras que, el experimento n° 3 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 40.40 NTU.

Figura 47:

Resultados del porcentaje de reducción de Turbidez – Segundo día



En la Figura 47 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de turbidez el segundo día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue el experimento n° 1, con un porcentaje de reducción del 95.72%, mientras que, el experimento n° 3 tuvo la reducción más baja con un 94.96%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue el experimento n° 1, con un porcentaje de reducción del 98.74%, mientras que, el experimento n° 3 tuvo la reducción más baja con un 95.83%.



Tabla 22:

Resultados de reducción de DQO post tratamiento – Tercer día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | | |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|---|---|------------------------------|-------------------|
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electrodos (Und.) | DQO Antes del Tratamiento (mg / L) | DQO Después del Tratamiento (mg / L) | % de Reducción de DQO | LMP (mg/L) |
| 1 | 30 | 11 | 3836.80 | 1433.60 | 62.64 | 900 |
| 2 | 30 | 5 | 3836.80 | 1091.20 | 71.56 | 900 |
| 3 | 60 | 11 | 3836.80 | 809.60 | 78.90 | 900 |
| 4 | 60 | 5 | 3836.80 | 432.00 | 88.74 | 900 |

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | | |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|---|---|------------------------------|-------------------|
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electrodos (Und.) | DQO Antes del Tratamiento (mg / L) | DQO Después del Tratamiento (mg / L) | % de Reducción de DQO | LMP (mg/L) |
| 1 | 30 | 11 | 3836.80 | 2385.60 | 37.82 | 900 |
| 2 | 30 | 5 | 3836.80 | 2328.00 | 39.32 | 900 |
| 3 | 60 | 11 | 3836.80 | 1443.20 | 62.39 | 900 |
| 4 | 60 | 5 | 3836.80 | 707.20 | 81.57 | 900 |

En la Tabla 22 se observa los resultados de los experimentos realizados el tercer día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de DQO.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue la n° 4, con un valor final de 432 mg/L de DQO, mientras que, el experimento n° 1 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 1433.60 mg/L.

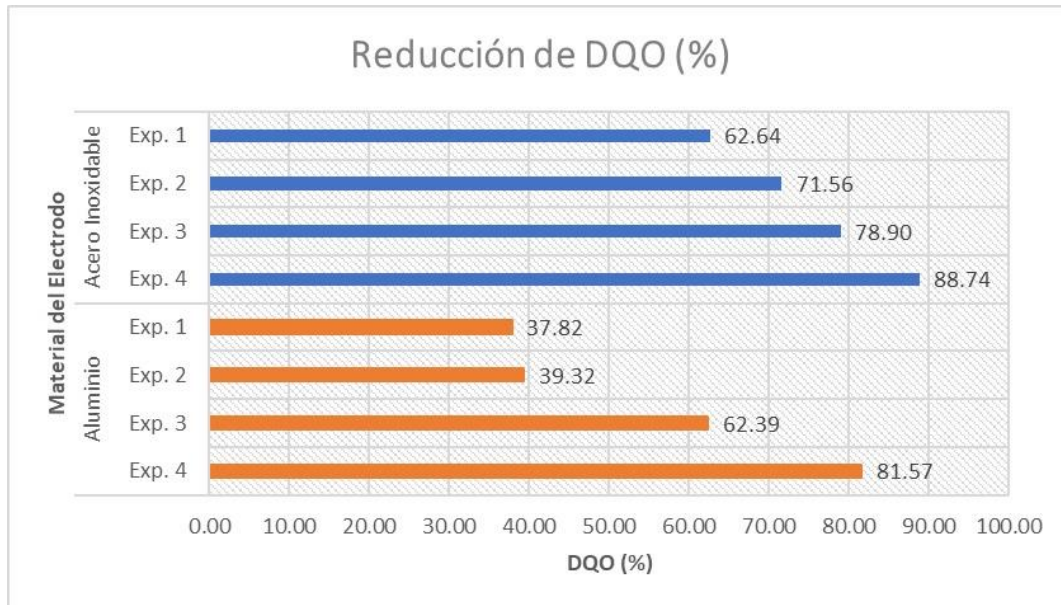
El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue la n° 4, con un valor final de 707.20 mg/L de DQO, mientras que, el experimento n° 1 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 2385.60 mg/L.



Cabe mencionar que, los experimentos n° 3 y n° 4 con el sistema de electrodos con acero inoxidable y el experimento n° 4 con electrodos de aluminio cumplen con el valor definido en el LMP de vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA).

Figura 48:

Resultados del porcentaje de reducción de DQO – Tercer día



En la Figura 48 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de DQO el tercer día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue el experimento n° 4, con un porcentaje de reducción del 88.74% de DQO, mientras que, el experimento n° 1 tuvo la reducción más baja con un 62.64%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue el experimento n° 4, con un porcentaje de reducción del 81.57% de DQO, mientras que, el experimento n° 1 tuvo la reducción más baja con un 37.82%.



Tabla 23:

Resultados de incremento de Temperatura post tratamiento – Tercer día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| N° Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | Temperatura Antes del Tratamiento (mg / L) | Temperatura Después del Tratamiento (mg / L) | % de Incremento de Temperatura |
| 1 | 30 | 11 | 23.30 | 26.60 | 14.16 |
| 2 | 30 | 5 | 23.30 | 28.60 | 22.75 |
| 3 | 60 | 11 | 23.30 | 29.80 | 27.90 |
| 4 | 60 | 5 | 23.30 | 40.70 | 74.68 |
| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | |
| N° Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | Temperatura Antes del Tratamiento (mg / L) | Temperatura Después del Tratamiento (mg / L) | % de Incremento de Temperatura |
| 1 | 30 | 11 | 23.30 | 29.80 | 27.90 |
| 2 | 30 | 5 | 23.30 | 35.20 | 51.07 |
| 3 | 60 | 11 | 23.30 | 34.60 | 48.50 |
| 4 | 60 | 5 | 23.30 | 45.10 | 93.56 |

En la Tabla 23 se observa los resultados de los experimentos realizados el tercer día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de temperatura.

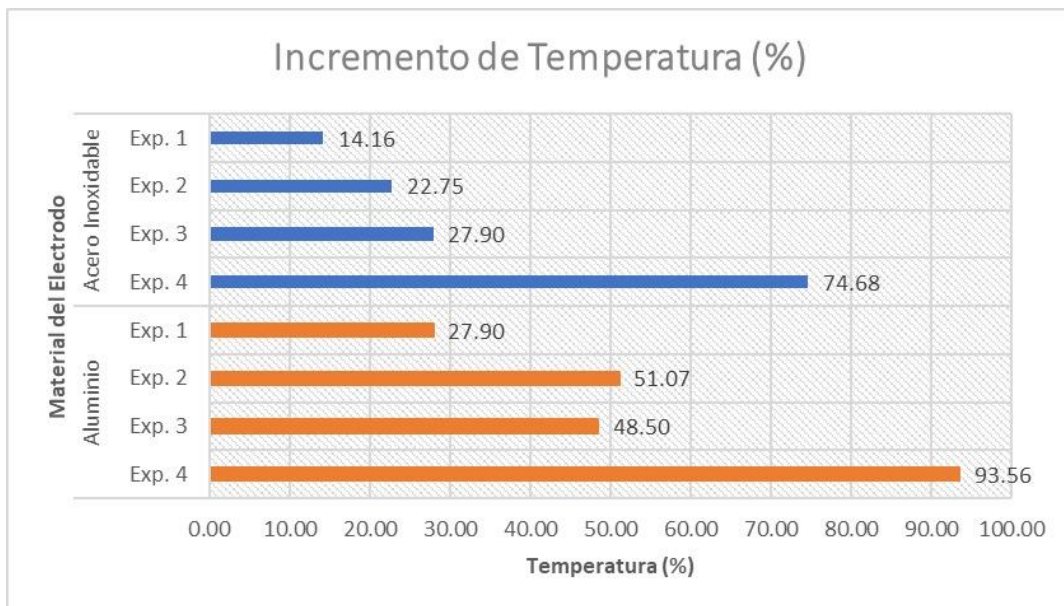
El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un valor final de 26.60°C, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento con un valor final de 40.70°C.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un valor final de 29.80°C, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento con un valor final de 45.10°C.



Figura 49:

Resultados del porcentaje de incremento de Temperatura – Tercer día



En la Figura 49 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de temperatura el tercer día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un porcentaje de 14.16%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 74.68%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de temperatura fue el experimento n° 1, con un porcentaje de 27.90%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 93.56%.



Tabla 24:

Resultados de incremento de pH post tratamiento – Tercer día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------|
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | pH Antes del Tratamiento | pH Después del Tratamiento | % de Incremento de pH | LMP |
| 1 | 30 | 11 | 7.70 | 11.80 | 53.25 | 6.00 - 9.00 |
| 2 | 30 | 5 | 7.70 | 11.10 | 44.16 | 6.00 - 9.00 |
| 3 | 60 | 11 | 7.70 | 12.20 | 58.44 | 6.00 - 9.00 |
| 4 | 60 | 5 | 7.70 | 11.90 | 54.55 | 6.00 - 9.00 |
| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | | |
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | pH Antes del Tratamiento | pH Después del Tratamiento | % de Incremento de pH | LMP |
| 1 | 30 | 11 | 7.70 | 8.20 | 6.49 | 6.00 - 9.00 |
| 2 | 30 | 5 | 7.70 | 8.90 | 15.58 | 6.00 - 9.00 |
| 3 | 60 | 11 | 7.70 | 8.40 | 9.09 | 6.00 - 9.00 |
| 4 | 60 | 5 | 7.70 | 9.40 | 22.08 | 6.00 - 9.00 |

En la Tabla 24 se observa los resultados de los experimentos realizados el tercer día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de pH.

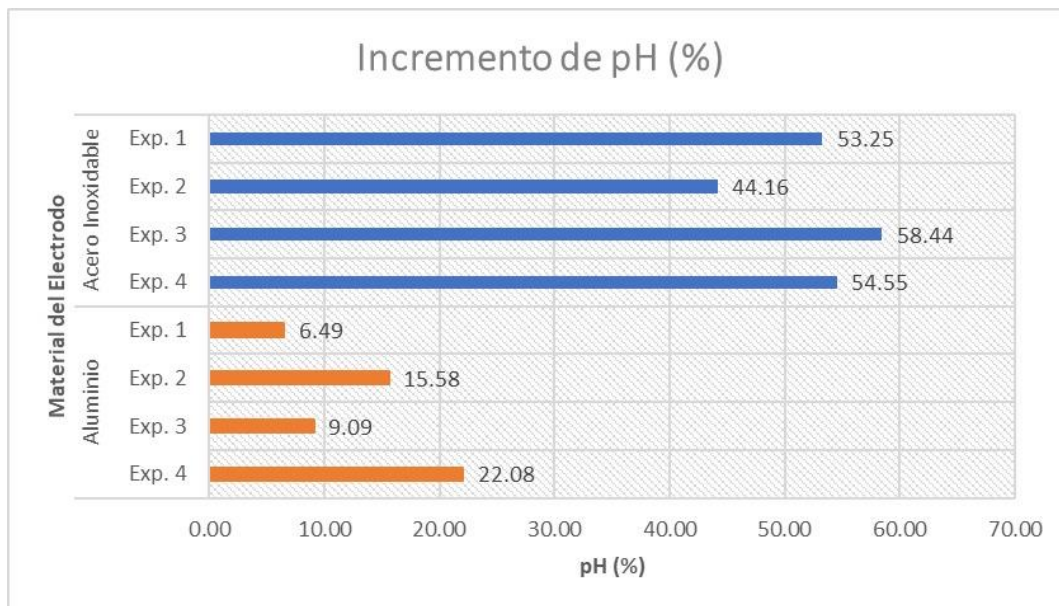
El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 2, con un valor final de 11.10, mientras que, el experimento n° 3 tuvo el mayor incremento con un valor final de 12.20.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 1, con un valor final de 8.20, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento con un valor final de 9.40.

Cabe mencionar que, los experimentos n° 1, n° 2 y n° 3 con sistema de electrodos con aluminio cumplen con el valor definido en el LMP de vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA).

Figura 50:

Resultados del porcentaje de incremento de pH – Tercer día



En la Figura 50 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de pH el tercer día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 2, con un porcentaje de 44.16%, mientras que, el experimento n° 3 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 58.44%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio donde hubo menor incremento de pH fue el experimento n° 1, con un porcentaje de 6.49%, mientras que, el experimento n° 4 tuvo el mayor incremento, con un porcentaje de 22.08%.



Tabla 25:

Resultados de reducción de Turbidez post tratamiento – Tercer día

| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ACERO INOXIDABLE | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|-----------------------------------|
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | Turbidez Antes del Tratamiento (NTU) | Turbidez Después del Tratamiento (NTU) | % de Reducción de Turbidez |
| 1 | 30 | 11 | 909.00 | 38.70 | 95.74 |
| 2 | 30 | 5 | 909.00 | 45.60 | 94.98 |
| 3 | 60 | 11 | 909.00 | 33.30 | 96.34 |
| 4 | 60 | 5 | 909.00 | 25.30 | 97.22 |
| SISTEMA DE ELECTRODOS CON ALUMINIO | | | | | |
| Nº Experimento | Tiempo de Tratamiento (Min.) | Número de Electroodos (Und.) | Turbidez Antes del Tratamiento (NTU) | Turbidez Después del Tratamiento (NTU) | % de Reducción de Turbidez |
| 1 | 30 | 11 | 909.00 | 48.00 | 94.72 |
| 2 | 30 | 5 | 909.00 | 41.00 | 95.49 |
| 3 | 60 | 11 | 909.00 | 43.00 | 95.27 |
| 4 | 60 | 5 | 909.00 | 37.60 | 95.86 |

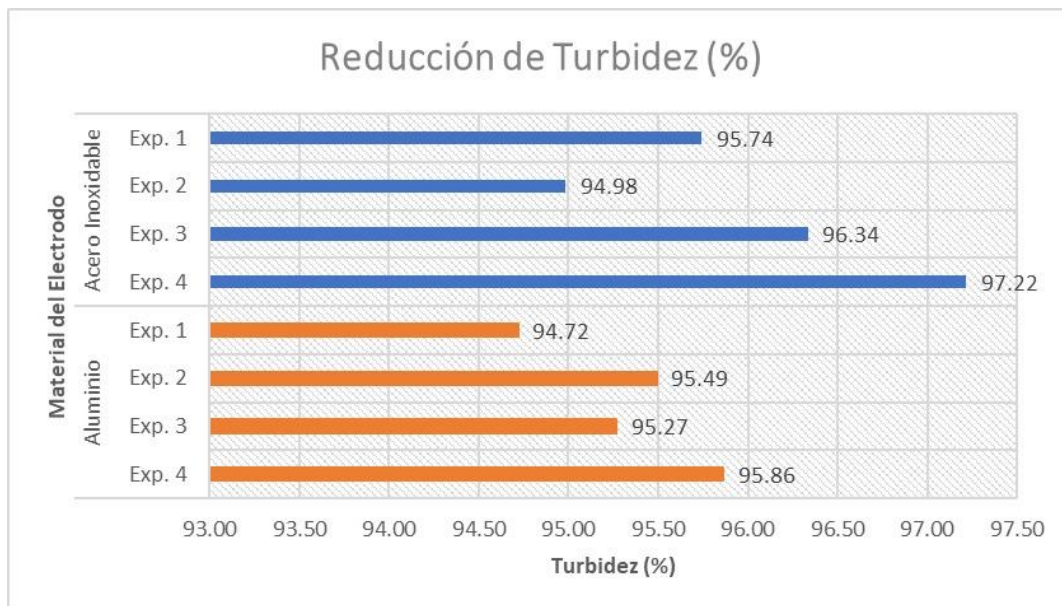
En la Tabla 25 se observa los resultados de los experimentos realizados el tercer día con ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) respecto al parámetro de turbidez.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue la n° 4, con un valor final de 25.30 NTU, mientras que, el experimento n° 1 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 45.60 NTU.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue la n° 4, con un valor final de 37.60 NTU, mientras que, el experimento n° 2 tuvo la reducción más baja, con un valor final de 48.00 NTU.

Figura 51:

Resultados del porcentaje de reducción de Turbidez – Tercer día



En la Figura 51 se observa los resultados de los experimentos con los sistemas de electrodos con acero inoxidable en comparación con el sistema de electrodos con aluminio respecto al parámetro de turbidez el tercer día.

El experimento con sistema de electrodos con acero inoxidable que dio mejor resultado fue el experimento n° 4, con un porcentaje de reducción del 97.22%, mientras que, el experimento n° 2 tuvo la reducción más baja con un 94.98%.

El experimento con sistema de electrodos con aluminio que dio mejor resultado fue el experimento n° 4, con un porcentaje de reducción del 95.86%, mientras que, el experimento n° 2 tuvo la reducción más baja con un 94.72%.

Las variaciones presentadas en los porcentajes de reducción de DQO (Tabla 14, 18 y 22) pudieron estar relacionadas a diferentes factores que influyeron en la toma de muestra, debido a que las muestras fueron recolectadas en tres días diferentes, siendo estas:

Operaciones del camal, la concentración de DQO pudo haberse visto influenciada por el número de animales sacrificados en cada jornada, los cuales generaron una cantidad superior de desechos orgánicos, como sangre y restos de órganos, además de incrementar la cantidad de agua usada en el proceso de faenado; lo que ocasiono un aumentando del caudal de las aguas residuales del Camal M. de K'ayra.



Condiciones meteorológicas, la concentración de DQO se pudo verse afectada debido a que los canales y tuberías por donde fluyen las aguas residuales del camal se encuentran expuestos a las precipitaciones y otros fenómenos climáticos.

Análisis Estadístico en Minitab 18

Una vez obtenido los resultados de los experimentos se procedió a realizar los siguientes análisis estadísticos:

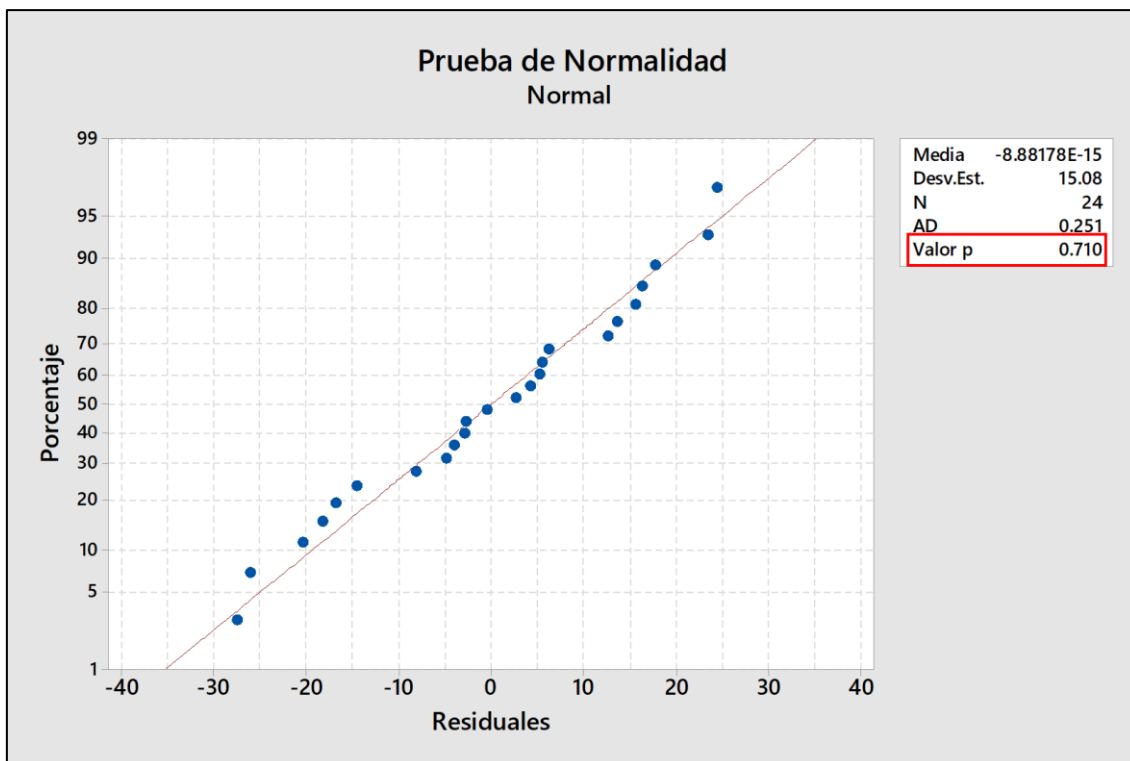
a. Prueba de Normalidad

La prueba de normalidad Anderson–Darling es un estadístico no paramétrico que se utiliza para probar si un conjunto de datos muestrales provienen de una población con una distribución de probabilidad continua específica, es decir, de una distribución normal (Flores y Flores, 2021).

Es por ello que se realizó esta prueba, con el fin de corroborar si existe una distribución normal de los datos obtenidos en los 24 experimentos.

Figura 52:

Prueba de Normalidad de Anderson-Darling





Donde:

Valor $p \geq 0.05$, se acepta la Hipótesis Nula

Valor $p < 0.05$, se rechaza la Hipótesis Nula

Entonces:

Hipótesis Nula (H_0): Los datos siguen una distribución normal

Hipótesis Alternativa (H_1): Los datos no siguen una distribución normal

Como se puede observar en la Figura 52, el Valor p (0.710) es mayor a 0.05, por lo cual se acepta la hipótesis nula: “Los datos siguen una distribución normal”.

b. Prueba de Levene

La prueba de Levene se utiliza para corroborar que las muestras comparadas proceden de una población con la misma varianza. Se realizó esta prueba teniendo en cuenta las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): Las varianzas son iguales en todas las muestras

Hipótesis Alternativa (H_1): Las varianzas no son iguales para todas las muestras

Tabla 26:

Prueba de Levene

| Análisis de Varianza | | | | | |
|----------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
| Grupo | 2 | 140.8 | 70.39 | 0.99 | 0.387 |
| Error | 21 | 1486.6 | 70.79 | | |
| Total | 23 | 1627.4 | | | |

Como se puede observar en la Figura 53, el Valor p (0.387) es mayor a 0.05, por lo cual se acepta la hipótesis nula: “Las varianzas son iguales en todas las muestras”.



c. Análisis de Varianza (ANOVA)

Tabla 27:

Análisis de Varianza (ANOVA)

| Análisis de Varianza | | | | | |
|---------------------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
| Modelo | 7 | 4736.27 | 676.61 | 13.22 | 0.000 |
| Lineal | 3 | 4222.58 | 1407.53 | 27.49 | 0.000 |
| Material del E. | 1 | 1661.47 | 1661.47 | 32.46 | 0.000 |
| Tiempo | 1 | 2306.48 | 2306.48 | 45.06 | 0.000 |
| Cantidad de E. | 1 | 254.63 | 254.63 | 4.97 | 0.040 |
| Interacciones de 2 términos | 3 | 494.76 | 164.92 | 3.22 | 0.051 |
| Material del E.*Tiempo | 1 | 151.30 | 151.30 | 2.96 | 0.105 |
| Material del E.*Cantidad de E. | 1 | 45.87 | 45.87 | 0.90 | 0.358 |
| Tiempo*Cantidad de E. | 1 | 297.59 | 297.59 | 5.81 | 0.028 |
| Interacciones de 3 términos | 1 | 18.94 | 18.94 | 0.37 | 0.552 |
| Material del E.*Tiempo*Cantidad de E. | 1 | 18.94 | 18.94 | 0.37 | 0.552 |
| Error | 16 | 819.08 | 51.19 | | |
| Total | 23 | 5555.34 | | | |

| Resumen del modelo | | | |
|--------------------|---------|--------------------|----------------|
| S | R-cuad. | R-cuad. (ajustado) | R-cuad. (pred) |
| 7.15488 | 85.26% | 78.81% | 66.83% |

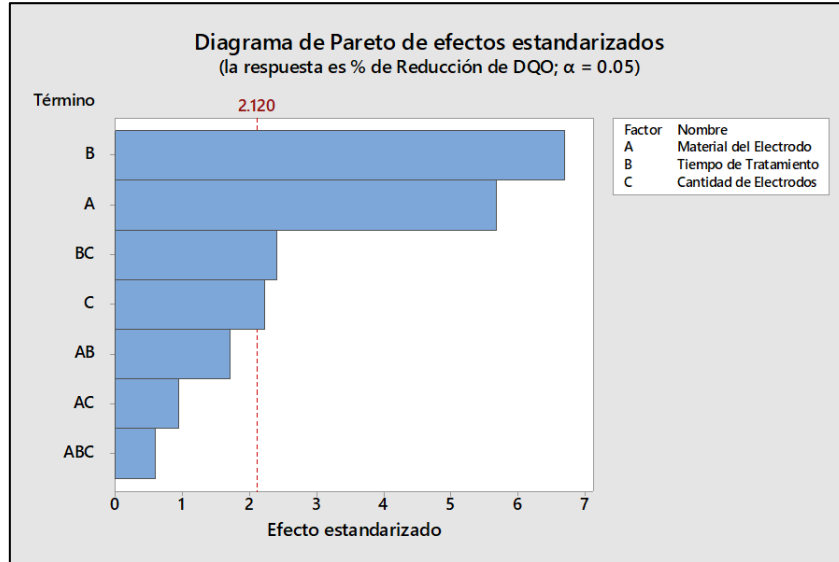
En la Figura 54 se puede apreciar el Análisis de Varianza, donde se muestra que los factores evaluados (material del electrodo, tiempo de tratamiento y cantidad de electrodos) además de la interacción entre tiempo y cantidad de electrodos, influyen significativamente en el proceso de electrocoagulación, ya que sus Valores p son menores a 0.05.

Asimismo, se evidencia el valor de R-cuadrada 85.26%, valor mayor al 70% que indica una buena asociación lineal entre las variables; es decir, el modelo estadístico utilizado se ajusta perfectamente a los resultados de la investigación.

d. Diagrama de Pareto

Figura 53:

Diagrama de Pareto

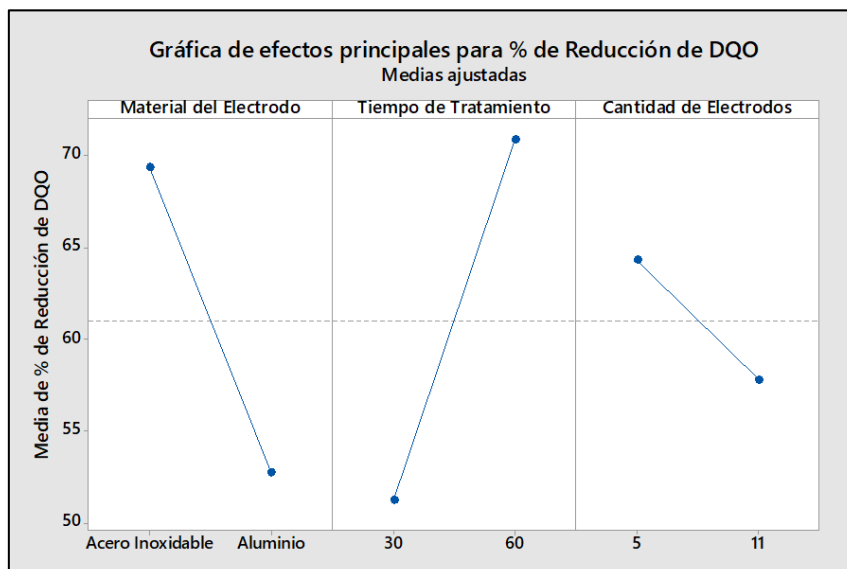


En la Figura 55 se observa el Diagrama de Pareto donde los factores más significativos en el proceso de electrocoagulación siendo estos: material del electrodo (A), tiempo de tratamiento (B) y cantidad de electrodos (C) y la interacción entre el tiempo de tratamiento y la cantidad de electrodos (BC).

e. Gráfica de Efectos Principales

Figura 54:

Gráfica de Efectos Principales



En la Figura 56 se observa la Gráfica de Efectos Principales para el porcentaje de reducción de DQO mediante el proceso de electrocoagulación, llegando a inferir que:

En cuanto al factor A (Material del Electrodo), el acero inoxidable presenta una reducción media de DQO de casi 70%, mientras que el aluminio apenas supera el 50%; llegando a la conclusión de que el acero inoxidable tiene una mayor reducción de DQO.

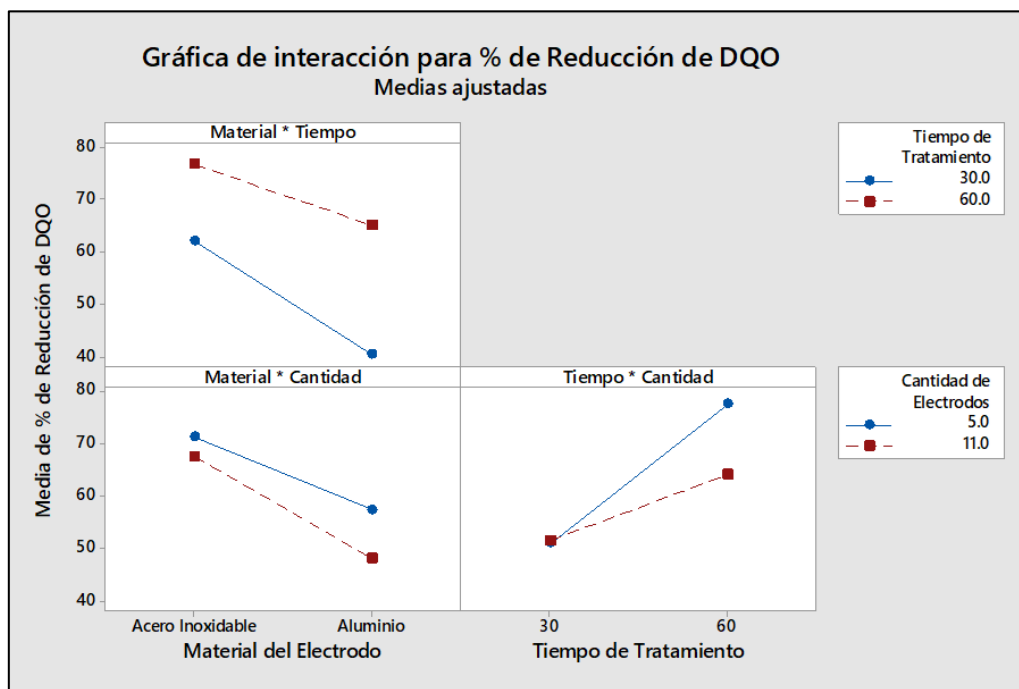
En cuanto al factor B (Tiempo de Tratamiento), en un tiempo de retención hidráulica de 30 minutos se observa una reducción media de DQO menor al 55%, mientras que, en 60 minutos de tratamiento se supera el 70%; llegando a la conclusión de que a mayor tiempo de retención hidráulica se tiene una mayor reducción de DQO.

En cuanto al factor C (Cantidad de Electrodo), con 5 placas en el tratamiento se obtiene una reducción media de DQO de casi 65%, mientras que con 11 placas solo se llega a superar el 55%; llegando a la conclusión de que a menor número de placas se tiene una mayor reducción de DQO.

f. Gráfica de Interacción

Figura 55:

Gráfica de Interacción



En la Figura 57 se observa la Gráfica de Interacción para el porcentaje de reducción de DQO mediante el proceso de electrocoagulación, llegando a inferir que:



En cuanto a la interacción de los factores AB (Material del Electrodo y Tiempo de Tratamiento), independientemente del material utilizado se observa una mayor reducción media de DQO a los 60 minutos de tratamiento, sin embargo, el acero inoxidable tiene una reducción media del 80% mayor al aluminio con solo un 65% aproximadamente.

En cuanto a la interacción de los factores AC (Material del Electrodo y Cantidad de Electrodo), independientemente del material utilizado se observa una mayor reducción media de DQO con 5 placas en el tratamiento, sin embargo, el acero inoxidable tiene una reducción media del 75% mayor al aluminio con solo un 60% aproximadamente.

En cuanto a la interacción de los factores BC (Tiempo de Tratamiento y Cantidad de Electrodo), a los 30 minutos de tratamiento se observa que con 5 y 11 placas se tiene una reducción media de DQO similar del 50% aproximadamente; sin embargo, a los 60 minutos de tratamiento con 5 placas se obtiene una reducción media de 80% mayor que con 11 placas donde hubo una reducción media solo del 60% aproximadamente.

4.3. Resultados respecto al objetivo General

Comparar la eficiencia del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.

Se logró comparar la eficiencia del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra.

Se evaluó y cotejó el porcentaje de reducción de DQO con las diferentes configuraciones de los sistemas de electrodos para analizar la eficiencia por tipo material, así como se muestra en las siguientes figuras:



Figura 56:

Comparación de los sistemas de electrodos en el porcentaje de reducción de DQO – Primer día

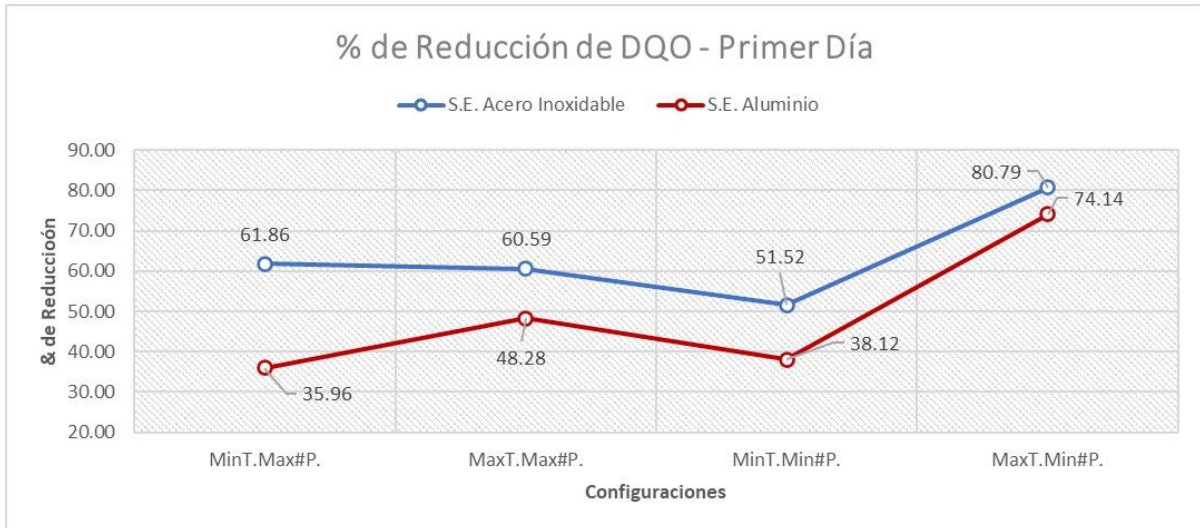


Figura 57:

Comparación de los sistemas de electrodos el porcentaje de reducción de DQO – Segundo día

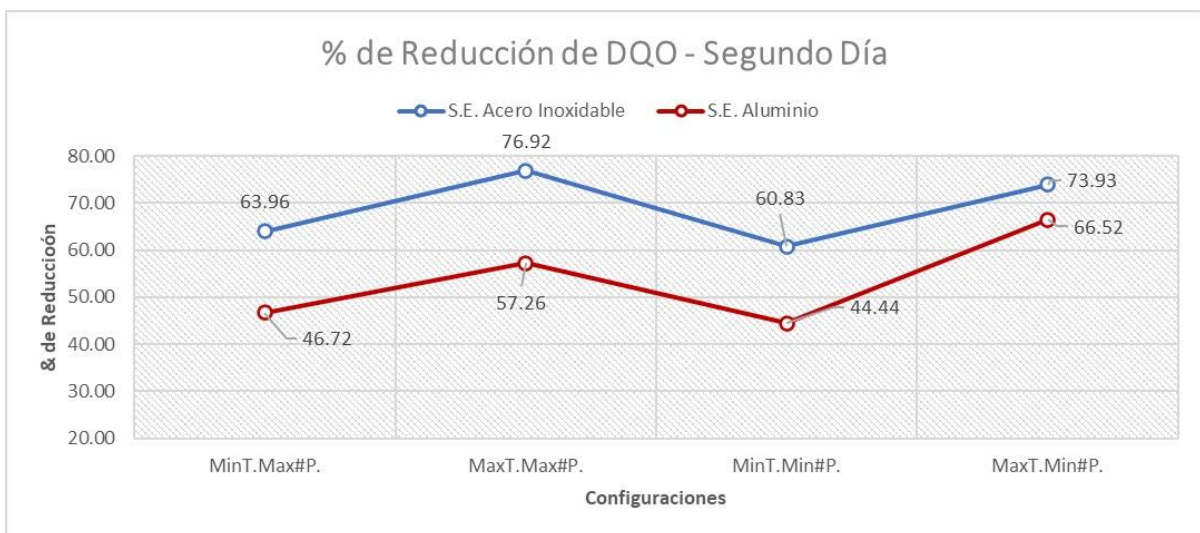
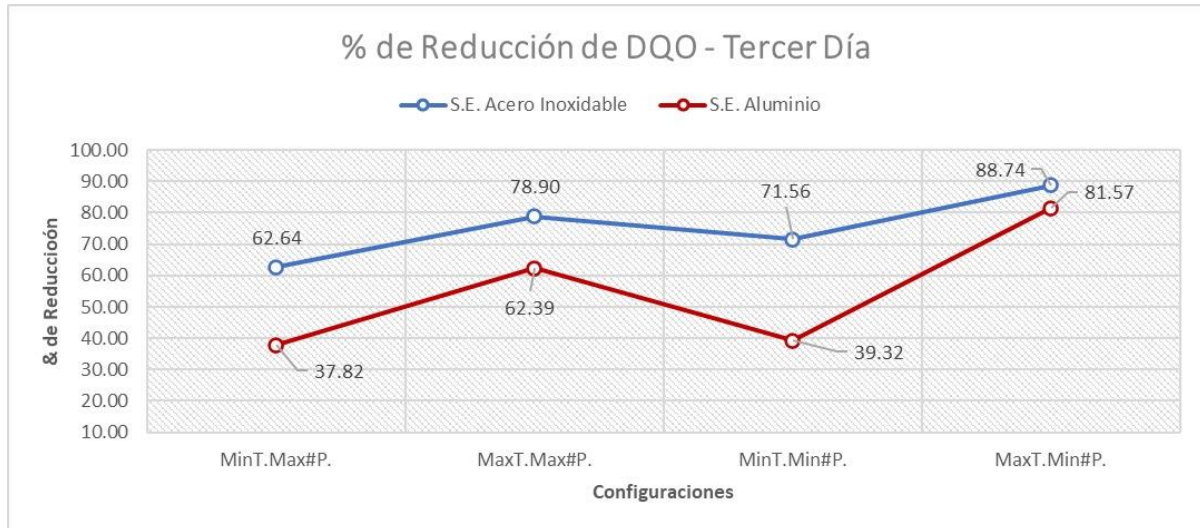




Figura 58:

Comparación de los sistemas de electrodos en el porcentaje de reducción de DQO – Tercer día



En las Figura 58, 59 y 60, se observa que el sistema de electrodos con acero inoxidable muestra una mayor tendencia de reducción de DQO en comparación al sistema de electrodos con aluminio.

Así mismo, para corroborar esta afirmación, se realizó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, el cual efectúa una comparación estadística de la media y determina si existe una diferencia en la variable dependiente para dos grupos independientes. Es así que se plantean las siguientes hipótesis:

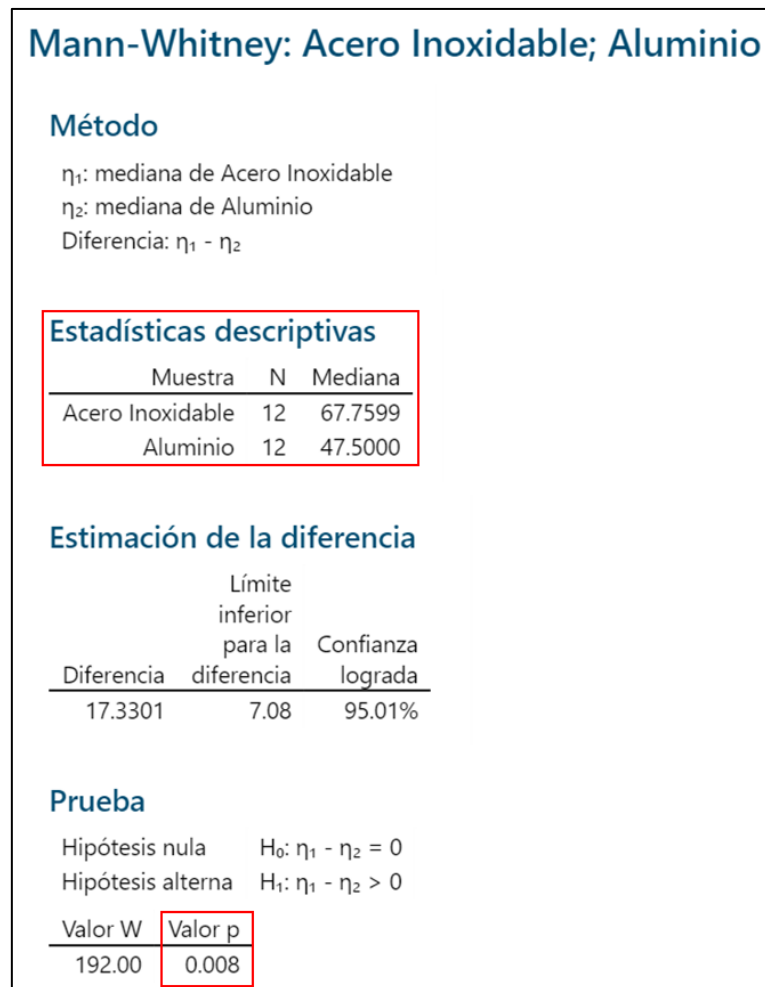
Hipótesis Nula (H_0): La reducción de la DQO en el proceso de electrocoagulación con el sistema de electrodos con acero inoxidable no es más eficiente que el sistema de electrodos con aluminio.

Hipótesis Alternativa (H_1): La reducción de la DQO en el proceso de electrocoagulación con el sistema de electrodos con acero inoxidable es más eficiente que el sistema de electrodos con aluminio.



Tabla 28:

Prueba U de Mann-Whitney



En la Figura 61 se observa la prueba U de Mann-Whitney donde el Valor p (0.008) es menor a 0.05, con lo cual, se acepta la Hipótesis Alterna (H_1). Así mismo se rescata que el sistema de electrodos con acero inoxidable es más eficiente que el sistema de electrodos con aluminio debido a la mediana del porcentaje de reducción de la DQO analizada en las estadísticas descriptivas.



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Descripción de los Hallazgos más Relevantes y Significativos

Finalizado el periodo de experimentación, el experimento cuya configuración de electrodos de acero inoxidable con un número mínimo de 5 placas y un tiempo de tratamiento mínimo de 30 minutos del primer día logró reducir hasta un 51.52% la DQO; mientras que en el experimento cuya configuración de electrodos de acero inoxidable con un número mínimo de 5 placas y un tiempo de tratamiento máximo de 60 minutos del tercer día logró reducir hasta un 88.74% la DQO. Así mismo, el experimento cuya configuración de electrodos de aluminio con un número máximo de 11 placas y un tiempo de tratamiento mínimo de 30 minutos del primer día logró reducir hasta un 35.96% la DQO; mientras que en el experimento cuya configuración de electrodos de aluminio con un número mínimo de 5 placas y un tiempo de tratamiento máximo de 60 minutos del tercer día logró reducir hasta un 81.57% la DQO.

En cuando a la temperatura, se tuvo un incremento que va desde 14.16% hasta 74.68% con el sistema de electrodos con acero inoxidable, mientras que, con el sistema de electrodos con aluminio la temperatura incrementó desde un 24.45% hasta 93.56%; siendo este último sistema el que tuvo un mayor incremento.

En cuando al pH, se tuvo un incremento que va desde 42.11% hasta 59.21% con el sistema de electrodos con acero inoxidable, mientras que, con el sistema de electrodos con aluminio el pH incrementó desde un 6.49% hasta 23.68%; siendo este último sistema el que tuvo un menor incremento.

En cuando a la turbidez, se tuvo una reducción que va desde 94.96% hasta 97.22% con el sistema de electrodos con acero inoxidable, mientras que, con el sistema de electrodos con aluminio la turbidez se redujo desde un 94.72% hasta 98.74%; siendo este último sistema el que tuvo una mayor reducción.

El proceso de electrocoagulación se llevó a cabo en un periodo de tiempo de 30 a 60 minutos con un amperaje de 5 amperios, demostrando así, que el proceso de electrocoagulación es capaz de reducir concentraciones elevadas de carga orgánica presentes en el agua residual del Camal M. de K'ayra con una gran eficiencia en un periodo de tiempo relativamente corto.



En cuanto al material de los electrodos utilizados (acero inoxidable y aluminio) se determinó que el sistema con electrodos de acero inoxidable tiene una eficiencia superior a la del sistema con electrodos de aluminio debido a:

- Su resistencia a la corrosión, el acero inoxidable es altamente resistente a la corrosión, lo que lo hace ideal para su uso en medios acuosos que es principalmente donde se da lugar el proceso de electrocoagulación, garantizando una vida útil más larga y un rendimiento constante del material.
- Su durabilidad, el acero inoxidable es un material el cual puede soportar condiciones extremas sin deteriorarse fácilmente, haciéndolo adecuado para el proceso de electrocoagulación.
- Su conductividad eléctrica, aunque el aluminio tiene una alta conductividad eléctrica, el acero inoxidable también posee una conductividad suficiente para llevar a cabo el proceso de electrocoagulación de manera eficiente.
- Su costo, el acero inoxidable puede ser inicialmente más costoso que el aluminio, sin embargo, su mayor durabilidad y resistencia a la corrosión pueden resultar en menores costos en el proceso de electrocoagulación a largo plazo en cuanto a su mantenimiento y reemplazo.

El tiempo de tratamiento en el proceso de electrocoagulación es un factor crítico que afecta la eficiencia en la reducción de contaminantes y la velocidad de sedimentación de los sólidos coagulados, de tal modo que:

- A medida que aumenta el tiempo de tratamiento, se logra una mayor reducción de la concentración de los contaminantes por la interacción con los coagulantes generados durante el proceso.
- Un tiempo de tratamiento adecuado permite que los flóculos formados se agrupen y sedimenten eficientemente de acuerdo con el diseño de la celda de electrocoagulación, lo que facilita su posterior separación del agua tratada.

La cantidad de electrodos en el proceso de electrocoagulación influye significativamente en la eficiencia de la reducción de contaminantes, ya que:

- Mientras más electrodos tenga el sistema el área de contacto aumentará, mejorando la eficiencia del proceso al generar más coagulantes que adsorben los



contaminantes; sin embargo, se requerirá una mayor cantidad de energía para poder realizar las reacciones necesarias, reduciendo la eficiencia del proceso.

- Si se cuenta con menos electrodos la corriente eléctrica será más intensa, facilitando la desestabilización del metal del ánodo.

Es importante considerar una adecuada selección del número óptimo de electrodos, ya que este debe basarse en el diseño de la celda de electrocoagulación.

5.2. Limitaciones del Estudio

- Una de las limitaciones antes de realizar la experimentación fue el hecho de contar únicamente con un transformador de corriente para los 24 experimentos, puesto que dicho equipo trabaja 60 minutos continuos, para luego descansar 30 minutos y así evitar su recalentamiento.
- Al momento de realizar la experimentación, una de las limitaciones fue no contar con una conservadora que mantenga la cadena de frío lo suficientemente amplia donde se pueda almacenar la muestra compuesta de agua residual (aproximadamente 60 litros), por lo que se optó tomar la muestra compuesta en tres días para realizar todas las experimentaciones y sus réplicas.
- Así mismo, una limitación posterior a la experimentación fue el no contar con los equipos necesarios para realizar la medición de la DQO; y si bien es cierto que se tenían algunos equipos, estos no se encontraban en funcionamiento o no estaban debidamente calibrados. Es por ello que se solicitó los servicios de un laboratorio particular que hiciera el análisis de este parámetro ocasionando un incremento en los costos, así como, limitar los parámetros a analizar en la presente investigación.

5.3. Comparación Crítica con la Literatura Existente

5.3.1. Internacional

- Respecto a la investigación realizada por Hernández y Mejía “Evaluación del sistema de Electrocoagulación para disminuir la carga contaminante a escala de laboratorio”, demostró que la electrocoagulación como alternativa de tratamiento para la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales provenientes de La Empresa Procesadora de Materias Primas (PMP) son muy eficientes, fácil de implementar y de bajos costos; para lo cual se realizó un análisis con dos sistemas de electrodos, uno con hierro y el otro con aluminio, llegando a reducir en un 83.32% la DBO₅, un 96.15% la DQO y un 93.89% los SST con electrodos



de hierro y un 79.207% la DBO₅, 95.79% la DQO y un 93.15% los SST con electrodos de aluminio, en un tiempo de operación de 4 horas y un voltaje de 2V llegando a la conclusión de que el tiempo de operación era demasiado extenso; es por ello que optaron realizar una segunda experimentación aumentando la intensidad de corriente solamente para los electrodos de hierro, ya que estos dieron mejores resultados, obteniendo así una reducción de DBO₅ igual a 89.82%, DQO igual al 97.83%, SST igual a 96.38%, en un tiempo de operación de 30 minutos con un voltaje de 12.6V.

A diferencia de los resultados obtenidos en la presente investigación que, en un tiempo de 60 minutos, con 5 electrodos de acero inoxidable y un voltaje entre 5 y 10 voltios, se obtuvo una reducción de DQO del 88.74%; si bien el tiempo de tratamiento en la investigación realizada por Hernández y Mejía fue menor, dichos autores utilizaron un voltaje mayor que favoreció la reducción de la DQO; en ambas investigaciones se pudo llegar a la misma conclusión respecto al material de los electrodos, donde el material con el cual se obtuvieron mejores resultados en el caso de los investigadores Hernández y Mejía fue con los electrodos de hierro, y en la presente investigación fue con el sistema de electrodos con acero inoxidable el cual tiene como componente principal el hierro y en menor medida cromo, afirmando que el hierro tiene una eficiencia superior a la del aluminio para la reducción de DQO.

- Los resultados obtenidos en la investigación “Validación de un prototipo de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica presente en la Industria” realizado por los autores Medina y Peralta fue una disminución de DBO₅ en un 78.26%, DQO en un 90.54% y color en un 81.46%, para lo cual emplearon electrodos de aluminio con un voltaje de 30V y un caudal de 50 mL/min.

Estos resultados difieren de los obtenidos en la presente investigación, en la cual se obtuvo una reducción de DQO del 88.74% con un tiempo de tratamiento de 60 minutos, un voltaje entre 5 y 10 voltios y un sistema de electrodos conformado por 5 electrodos de acero inoxidable, el cual fue el que mejor resultado dio en comparación al uso de un sistema de electrodos conformado por electrodos de aluminio. Los resultados de la investigación realizada por los autores Medina y Peralta muestran mayor eficiencia que los resultados obtenidos en la presente investigación, esto pudo deberse a que dichos autores utilizaron un voltaje tres



veces mayor al utilizado en la presente investigación (10 voltios), además de trabajar con un flujo constante de agua (50 mL/min) mientras que en la presente investigación se trabajó con un sistema estático (tipo Batch), demostrando que este proceso también puede ser aplicado en sistemas continuos para el tratamiento de aguas residuales.

5.3.2. Nacional

- Los resultados obtenidos en el presente estudio se diferencian frente a los obtenidos por Carhuacho y Salazar en su investigación “Estudio del efecto de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales Covicorti en la ciudad de Trujillo – La Libertad”, donde utilizaron ánodos de aluminio, zinc y hierro y cátodos de titanio. Los mejores resultados fueron con un sistema conformado por electrodos de titanio como cátodo y aluminio como ánodo, obteniendo remociones del 58.24% para la DBO₅, 90.95% para la DQO, 96.48% para los SST y 93.56% para la turbidez, con una separación entre electrodos de 3 cm, un volumen de agua de 3 litros, un tiempo de operación de 30 minutos y un tiempo de sedimentación de 60 minutos.

Estos resultados difieren de los obtenidos en la presente investigación, ya que los niveles más altos de remoción fueron de 88.74% para DQO y 97.22% para la turbidez con una configuración de electrodos de acero inoxidable para cátodo y ánodo. Los resultados de la presente investigación muestran una mayor reducción en cuanto al parámetro de turbidez, sin embargo, los investigadores Carhuacho y Salazar tienen una mayor eficiencia en la reducción de DQO, esto pudo deberse a que dichos autores utilizaron aguas residuales de tipo urbana en la que se encuentran efluentes domésticos e industriales; mientras que las aguas residuales evaluadas fueron exclusivamente provenientes del Camal M. de K'ayra, no obstante, los resultados obtenidos en la presente investigación al igual que la de los investigadores Carhuacho y Salazar tienen una gran eficiencia por encima del 88% demostrando que este tratamiento es muy efectivo.

5.3.3. Local

- Los investigadores Chacón y Huanpotupa en su tesis “Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea Ramírez - Anta - Compone” en el cual emplearon un tiempo de tratamiento de 2, 5, 10, 20, 30 y 50 minutos; y una



densidad de corriente de 20 y 56.7 A/m². A una densidad de corriente de 56.7 A/m² y un tiempo de tratamiento de 50 minutos se obtuvo los mejores porcentajes de reducción para la DQO (86.96%) y DBO₅ (71.94%); mientras que, para los SST el máximo porcentaje de reducción (55.31%) se alcanzó en un tiempo de 30 minutos a una densidad de corriente de 56.7 A/m².

Estos resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación, ya que el porcentaje más alto de reducción que se logró alcanzar para la DQO fue de 88.74%, en un tiempo de tratamiento de 60 minutos y un amperaje de 5A; mientras que los investigadores Chacón y Huanpotupa utilizaron un tiempo de tratamiento de 50 minutos y un amperaje de 4.4A aproximadamente, confirmando que a un tiempo de tratamiento y a una intensidad de corriente altas, la reducción de la DQO será mucho mayor y el proceso será más eficiente.

- En la investigación realizada por Ninan y Zambrano “Tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario de Jaquira por electrocoagulación” evaluaron el tratamiento del lixiviado utilizando el proceso de electrocoagulación, donde dichos autores utilizaron electrodos de aluminio como ánodo y electrodos de acero inoxidable como cátodo, con un tiempo de operación de 120 minutos, una densidad de corriente de 10 mA/cm² y una separación entre electrodos de 0.5 cm y 2 cm. A los 30 minutos se obtuvo la mayor remoción de DBO₅ y TSS obteniendo 69.72% y 70.54% respectivamente, la máxima remoción de DQO se alcanzó a los 120 minutos obteniendo una remoción del 34.78%.

En la presente investigación, se obtuvo una reducción del 88.74% para la DQO con un amperaje de 5A y un tiempo de tratamiento de 60 minutos, el cual representa un porcentaje mayor de reducción con un tiempo de tratamiento menor en comparación al obtenido por autores Ninan y Zambrano; esto pudo deberse a que dichos autores utilizaron los lixiviados del relleno sanitario de Jaquira el cual se compone de una elevada carga orgánica para lo cual sería necesario un tiempo de tratamiento más extenso y una intensidad de corriente mayor para obtener mejores resultados en un periodo de tiempo mucho más corto.

- En el estudio realizado por Ticona “Tratamiento electroquímico de aguas residuales procedentes del Camal Municipal de Anta, Cusco - 2021”, donde el autor utilizó electrodos de acero inoxidable y un tiempo de operación de 90 minutos para su proceso de electrólisis dio como resultado una reducción de un



91.60% para DBO₅, un 80.15% para DQO, un 98.06% para SST un 99.90% para la turbidez y el pH incrementó en un 10.12%.

En comparación con los resultados obtenidos en nuestra investigación, donde con un tiempo de tratamiento de 60 minutos, la reducción de DQO fue de 88.74% y la turbidez tuvo una reducción del 97.22%, además el pH incrementó en un 57.89%. Si bien, los resultados de la investigación realizada por Ticona muestran mejores resultados en la reducción de turbidez (99.90%), esto se debió a que su tiempo de operación fue mayor (90 minutos), mientras que, en la presente investigación el tiempo de operación fue menor, obteniendo resultados muy similares, demostrando que el tratamiento por electrocoagulación es muy efectivo para reducir la DQO.

5.4. Implicancias del Estudio

En cuanto a las implicancias del estudio se puede afirmar que, de acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, la electrocoagulación es un proceso muy efectivo y práctico con respecto a la depuración y tratamiento de las aguas residuales con una elevada carga orgánica, habiendo encontrado ventajas como:

- Ser un proceso el cual no necesita ningún tipo de reactivo y/o floculante para reducir la carga orgánica de manera muy eficiente.
- Presentar un tiempo de tratamiento relativamente corto.
- Ser una tecnología de tratamiento con costos de implementación bajos.

Siendo así una muy buena alternativa para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los camales y/o plantas de faenado.



C. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta el porcentaje de reducción de la DQO y turbidez, el porcentaje de incremento de temperatura y pH, el cumplimiento de los LMP de los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA) y la prueba no paramétrica U de Mann Whitney, se evaluó la eficiencia del proceso de electrocoagulación; siendo así el sistema de electrodos con acero inoxidable más eficiente para la reducción de la DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra, donde el mejor resultado fue el experimento n° 4 del tercer día con un porcentaje de reducción del 88.74%, el cual estuvo conformado por 5 placas y tuvo un tiempo de tratamiento de 60 minutos.
- Se determinó la concentración de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra antes del proceso de electrocoagulación para los tres días, siendo así 3897.60 mg/L, 2246.40 mg/L y 3836.80 mg/L respectivamente. Cabe mencionar que, dichos resultados exceden los LMP de los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA).
- Se construyó una celda de electrocoagulación, a escala de laboratorio, de acrílico con una capacidad máxima de 3 litros y una forma de prisma rectangular (20x10x15cm); el cual nos permitió realizar los experimentos con las condiciones óptimas de operación, las cuales fueron un volumen de 2 litros y un amperaje de 5 amperios. Así mismo, ambos sistemas de electrodos (acero inoxidable y aluminio) estaban conformados con un máximo de 11 placas con las cuales se interactuó en cada experimento.
- Se determinó la concentración de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra después del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio para los tres días, siendo así los mejores resultados los siguientes:
 - **Acero inoxidable:** experimento n° 4 del tercer día con un valor final de 432.00 mg/L de DQO conformado por 5 placas y un tiempo de tratamiento de 60 minutos.



- **Aluminio:** experimento n° 4 del tercer día con un valor final de 707.20 mg/L de DQO conformado por 5 placas y un tiempo de tratamiento de 60 minutos.

Cabe mencionar que, dichos resultados cumplen los LMP de los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA).

RECOMENDACIONES

- Para la implementación de esta tecnología a gran escala, se recomienda al Camal Municipal de K'ayra el uso de un tren de tratamiento (Anexo 08) el cual incluya un cribado como tratamiento preliminar para disminuir la cantidad de sólidos gruesos como pelo, excretas, etc.; seguido de una trampa de grasas y un sedimentador como tratamiento primario, posterior a ello el proceso de electrocoagulación como tratamiento secundario y finalmente un filtrado para asegurar un tratamiento adecuado y eficiente.
- Para optimizar el agua a tratar, se recomienda a los bachilleres realizar un proceso previo de electrocoagulación con la adición de aditivos como el Ácido Cítrico o Ácido Sulfúrico para controlar el incremento de pH.
- Para ampliar la investigación, se recomienda a los futuros investigadores evaluar la reducción de contaminantes en periodos de tiempo mucho más extenso, así como interactuar con las combinaciones entre electrodos de acero inoxidable y aluminio.
- Se recomienda a los bachilleres que deseen complementar la investigación, realizar un estudio de la composición de las espumas y sedimentos generados post tratamiento de electrocoagulación.
- Recomendamos a los futuros investigadores, diseñar una celda de electrocoagulación que permita realizar un tratamiento continuo de las aguas residuales, teniendo en cuenta el material que se planea a usar como electrodos.



D. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albarrán Zavala, E. (2008). El potencial redox y la espontaneidad de las reacciones electroquímicas. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(3), 336-345. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2735574>
- Álvarez Ramos , M. E., Duarte Zamorano, R. P., Rodriguez Jáuregui, E., & Jesús Castillo, S. (2017). Corriente eléctrica y Resistencia [Diapositivas de Power Point]. *Física II - Primera Parte: Electricidad*. Universidad de Sonora, Hermosillo - Mexico. Obtenido de https://dcbs.fisica.uson.mx/archivos/fisica2/05-fisica_II.pdf
- Alvarez Tapia, L., & Suni Mendoza, E. (2021). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal del Cusco. *Tesis de Grado*. Universidad César Vallejo, Lima - Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97929>
- ANA. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima-Perú: Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Arango Ruiz, Á. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de Investigacion*, 49-56. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520109.pdf>
- Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Universidad Eafit*, 56-67. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/215/21514706.pdf>
- Arango, Á. (2013). Crisis mundial del agua. *ResearchGate*, 7-8. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/262754381_Crisis_mundial_del_agua
- Ayuque Rojas, J. C., & Esteban Carhuapoma, J. Á. (2021). Eficiencia de una cámara de electrocoagulación a escala de laboratorio para tratamiento de aguas residuales del camal municipal distrito de Huancavelica. *Tesis de Grado*. Universidad Nacional De, Huancavelica-Perú. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3944>



- Benites Morales, A., & León Jiménez, N. J. (s/f). *Fundamentos electrónicos para la computación Apuntes digitales*. Mexico: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Obtenido de <http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro16/index.html>
- Carhuancho Alcantara, H. M., & Salazar Escobar, J. L. (2015). Estudio del efecto de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales convicorti en la Ciudad de Trujillo - La Libertad. *Tesis de Grado*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Perú. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3590>
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima, Perú: San Marcos. Obtenido de https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_Carrasco_Diaz_1_
- Castañeda Loayza, V. (2022). *Buenas practicas de faenado de bovinos*. Cusco: Municipalidad Provincial de Cusco.
- Chacón Bacilio, F. M., & Huanpotupa Champi, C. K. (2021). Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea Ramírez - Anta - Compone. *Tesis de Grado*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco - Perú. Obtenido de <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5962>
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2001). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial*. Santiago-Chile: Asociación Chilena de Seguridad (ACHS). Obtenido de https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/control-y-prevencion-de-riesgos-en-industria-procesadora-de-carne.pdf?sfvrsn=8ee740a5_0
- Comunidad Andina. Secretaría General. (2008). *Manual de Estadísticas Ambientales Andinas*. Lima-Perú: Navarrete. Obtenido de https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual_estadisticas_ambientales.pdf



Comunidad de Madrid. (2002). *La Electricidad - El Recorrido de la energía*. Madrid España: IBERDROLA. Obtenido de <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-la-electricidad.pdf>

Cortes Martínez, F., Betancourt Silva, F., & Medrano Chávez, J. F. (2010). Control Inicial en la Descarga de Aguas Residuales Industriales y Comerciales. *Conciencia Tecnológica*, 43-49. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94415753008>

del Castillo Rodríguez, F. D. (2008). Principios de la electrodeposición. *Lectura de ingeniería 7*. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán, México. Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/principios%20de%20electrolisis.pdf

Díaz del Castillo Rodriguez, F. (2008). Principios de la Electrodeposición. *Lecturas de Ingeniería*. Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán - México. Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/principios%20de%20electrolisis.pdf

Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito. (2020). *Proceso de Faenamiento de Bovinos*. Obtenido de Rastro: <http://www.epmrq.gob.ec/index.php/servicios/faenamiento/faenamiento-bovinos/faenamiento-porcinos-2#:~:text=Proceso%20de%20Faenamiento%20de%20Bovinos,las%20normas%20t%C3%A9cnicas%20y%20sanitarias>

Enciclopedia Online. (9 de mayo de 2019). *Ecosistemas acuáticos*. Obtenido de <https://enciclopediaonline.com/es/ecosistemas-acuaticos/>

Espigares García, M., & Pérez López, J. A. (2015). *Aguas residuales composición*. Obtenido de https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Farfán, A. R., Guillen, O., Quispe, T., Perez, V., Lopa, J., & Fernandez, U. (2021). Tratamiento de Efluentes del Proceso de Lavado de Lana en una Industria Textil



mediante Electrocoagulación. *International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, 01-07. Obtenido de <http://laccei.org/LACCEI2021-VirtualEdition/meta/FP580.html>

Flores Tapia, C. E., & Flores Cevallos, K. L. (2021). Pruebas para comprobar la Normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. *Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 23, 1-9. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/index.html>

Fuentes Rivas, R., Ramos Leal, J., Jiménez Moleón, M., & Esparza Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en aguas subterráneas del valle de Toluca por espectrofotometría de fluorescencia 3-D. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 253-264. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n3/v31n3a5.pdf>

Fundación MAPFRE. (2005). Minimización del riesgo medioambiental en los mataderos / ITSEMAP. Madrid, Madrid, España. Obtenido de <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/26846.do?queryId=11172&position=1&>

Harper, G. (2004). *El ABC de la reparación y mantenimiento de los aparatos electrodomésticos*. México: Limusa S.A. Obtenido de <https://www.apuntesdeelectronica.com/otros/el-abc-de-reparacion-electrodomesticos.htm>

Hernández Flórez, J. S., & Mejía Roa, S. (2019). Evaluación del sistema de electrocoagulación para disminuir la carga contaminante a escala de laboratorio. *Tesis de Grado*. Fundación Universidad de América, Bogota - Colombia. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7384>

Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Huamán Zamora, H. P., & Rodríguez Briones, L. H. (2021). Determinación del tiempo de remoción de la turbidez para diferentes voltajes de electrocoagulación del agua residual industrial avícola Soto – Cajamarca. *Tesis de Grado*. Universidad Privada



- Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca – Perú. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1753>
- Hurtado Huamán, F., & Borda Pilinco, M. (2021). Eficiencia técnica en los servicios de los camales del dpto del Cusco 2016. *Tesis de Grado*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco- Perú. Obtenido de <http://200.48.82.27/handle/20.500.12918/6062>
- INEI. (2021). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2021*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1827/libro.pdf
- Linares Hernández, I., Martínez Miranda, V., Barrera Díaz, C., Pavón Romero, S., Bernal Martínez, L., & Lugo Lugo, V. (2011). Oxidación de materia orgánica persistente en aguas residuales industriales. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 21-36. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627681003.pdf>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Scielo*, 14(2), 145-153. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612016000200017
- López Vázquez, R., & Casp Vanaclocha, A. (2004). *Tecnología de Mataderos*. Madrid-España: Mundi-Prensa. Obtenido de <https://ricarducatse.files.wordpress.com/2012/01/tecnologic3ada-de-mataderos.pdf>
- Medina Cevallos, J. F., & Peralta Calderon, M. O. (2015). Validación de un prototipo de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica presente en la Industria. *Tesis de Grado*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca-Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10702>
- MINAM. (2009). *Manual para Municipios Ecosistemicos (15-69 ed.)*. Lima- Perú: ENOTRIA S.A. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-municipios-ecoeicientes>



- Moreno Estacio, R. M. (2018). Tratamiento de aguas residuales del camal municipal, mediante el método de electrocoagulación – Cajamarca 2018. *Tesis de Grado*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13807>
- Moya Llamas, M. J. (2018). Tecnologías electroquímicas aplicadas en el tratamiento de aguas: Electrocoagulación. *RUA*, 01-08. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/86621>
- Municipalidad Distrital de San Jerónimo - Cusco. (2017). *PLAN DE DESARROLLO CONCERTADO 2017 - 2024*. Cusco-Perú: Centro Guaman Poma de Ayala. Obtenido de http://www.munisanjeronimocusco.gob.pe/Documento_pdf/PLAN/PLAN_DESARROLLO_CONCERTADO_San_Jeronimo.pdf
- Ninan Valer, K. G., & Zambrano Jarandilla, M. C. (2019). Tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario de Jaquira por electrocoagulación. *Tesis de Grado*. Universidad San Antonio Abad del Cusco, Cusco - Perú. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4372>
- Niquén Inga, M. I., Vasquez Garcia, A. C., Hinojosa Niquen, Y. A., & Niquen Inga, A. G. (2013). Impactos ambientales generados por vertimiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Tumbes - Perú. *RECIAMUC*, Vol. 5(3), 222-232. Obtenido de <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/692>
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima-Perú. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=Son%20aquellas%20aguas%20cuyas%20caracter%C3%ADsticas,descargadas%20al%20sistema%20de%20alcantarillado.
- Pereira Arroyo, R. (2016). *Definiciones fundamentales [Diapositivas de Power Point]*. Tecnológico de Costa Rica, Cartago - Costa Rica. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10130/Definiciones%20Fundamentales%20%28presentacion%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pereira Tangerino, E., Moreira Colletti, G., & Sánchez Ortiz, I. A. (2016). Aplicación de electrólisis con adición de sales para remoción de color en potabilización de agua.



- Facultad de Ingeniería*, 25(43), 47-57. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4139/413948045004.pdf>
- Porras López, G. M. (2019). Efecto de actividades antropogénicas sobre la comunidad liquénica del distrito de Matucana. *Tesis de Grado*. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA, Lima - Perú. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3137>
- Ramón Córdova, Y. M. (2021). Aplicación de la electrocoagulación como alternativa de remoción de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas residuales generadas en el distrito de San Pedro de Saño, 2020. *Tesis de Grado*. Universidad Continental, Huancayo-Perú. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10394>
- Restrepo Mejía, A. P., Arango Ruiz, Á., & Garcés Giraldo, L. F. (2006). La Electrocoagulación: retos u oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción + Limpia*, 1(2), 59-77. Obtenido de <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/514>
- Rivera Carvajal, R. (2010). Las aguas residuales provenientes del faenamiento en el camal municipal Salcedo y su incidencia en la contaminación del Río Cutuchi. *Tesis de Grado*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1774/1/MSc.%206.pdf>
- Rodríguez Fernández-Alba, A., Letón García, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., & Sanz García, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid-España: Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). Obtenido de http://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf
- Rodriguez Salcedo, C. F. (2008). Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. *Tesis de Pregrado*. Universidad de Sucre, Sucre-Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/298>
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Carlos Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Scielo*, 27(03). Obtenido de



http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019

SENASA. (2022). *Estado situacional de los Mataderos con respecto a la Autorización sanitaria*. Obtenido de Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA: https://servicios.senasa.gob.pe/SIGIAWeb/ino_consultasmatadero.html

Ticona Flores, J. C. (2021). Tratamiento electroquímico de aguas residuales procedentes del Camal Municipal de Anta, Cusco - 2021. *Tesis de Grado*. Universidad Continental, Cusco - Perú. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10791>

Valera, I. (2019). Qué son el Ánodo y el Cátodo. *¿Qué son el Ánodo y el Cátodo?* Universidad de Oviedo, Asturias - España. Obtenido de https://www.academia.edu/40484777/Qu%C3%A9_son_el_%C3%81nodo_y_el_%C3%A1todo

Vera, M. I. (2007). *Unidad X: Electroquímica*. Corrientes-Argentina: Universidad Nacional del Nordeste. Obtenido de https://exa.unne.edu.ar/quimica/quimgeneral/temas_parciales/unidad_10_Electroquimica2007.pdf

Y.A. Mollah, M., Morkovsky, P., A.G. Gomes, J., Kesmez, M., Parga, J., & L. Cocke, D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114, 199-210. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009>

Zavaleta Espinoza, S. (2022). Eficiencia de los procesos Fenton y Fotofenton en la remoción de la *DBO5* del efluente del Camal Municipal Cusco-2021. *Tesis de Grado*. Universidad Andina del Cusco, Cusco - Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5722>

Zurrita, A., Guillen, A., Lugo Serrato, O., & Aguilar Garnica, J. (2015). Factores Causantes de Degradación Ambiental. *International Journal of Good Conscience*, 1-9. Obtenido de [http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10\(3\)1-9.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10(3)1-9.pdf)



Figura 60:

Etiquetas para Muestra de Agua – ANA

| Etiqueta para Muestra de Agua | | | |
|-------------------------------|----|-------|----------------|
| Solicitante/cliente: | | | |
| Nombre laboratorio: | | | |
| Código punto de monitoreo: | | | |
| Tipo de cuerpo de agua: | | | |
| Fecha de muestreo: | | Hora: | |
| Muestreado por: | | | |
| Parámetro requerido: | | | |
| Preservada: | SÍ | NO | Tipo reactivo: |



Figura 62:

Registro de Identificación del Punto de Monitoreo – ANA

Registro de Identificación del Punto de Monitoreo

Nombre del cuerpo de agua:

Clasificación del cuerpo de agua:
(Categorizado de acuerdo a la R.L. N°262-2010-ANA y modificaciones posteriores)

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero:
(Código Platfóter)

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo:
(Según lo indicado en Item 6.5.4 del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Descripción:
(Origen/Ubicación)

Accesibilidad:
(Describir detalladamente la vía de acceso, para que otras personas puedan encontrar fácilmente el punto de monitoreo)

Representatividad:
(Describir el tramo de río o quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)

Finalidad del monitoreo:
(Describir la finalidad del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminante,)

Reconocimiento del Entorno:
(Indicar referencias topográficas que permiten el fácil reconocimiento del punto en campo.)

UBICACIÓN

Distrito: Provincia: Departamento:

Localidad:

Coordenadas (WGS84): Sistema de coordenadas: Proyección UTM Geográficas

Norte/Latitud: Zona: (17, 18 o 19; para UTM solamente)

Este/Longitud: Altitud: (metros sobre el nivel del mar)

Croquis de Ubicación del Punto de Monitoreo (referencia)

Fotografía:
(tomada a un mínimo de 20 mts. de distancia del punto de monitoreo)

Elaborado por _____ Fecha _____



Figura 63:

Volumen de Alícuota - Muestra compuesta

| MUESTRA COMPUESTA | | | | |
|--|------------|-------------|----------|-----------------|
| Datos de la Muestra | | | | |
| Muestreador: | | | | |
| Punto de Muestreo: | | | | |
| Fecha de Muestreo: | | | | |
| Hora de Muestreo: | | | | |
| Cantidad de Muestra: | | | | |
| $Q = \frac{V}{t}$ <p>Donde: Q = Flujo volumétrico o caudal (L/s) V = Volumen(L) t = Tiempo(s)</p> | | | | |
| Muestras Simples (Alicuotas) | | | | |
| N° | Tiempo (s) | Volumen (L) | Qi (L/s) | V. Alicuota (L) |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| Caudal Promedio | | | | |
| Volumen Total a Componer | | | | |
| $V_i = \frac{V \times Q_i}{n \times Q_p}$ <p>Donde: Vi: Volumen de cada alícuota o porción de muestra V: Volumen total a componer Qi: Caudal instantáneo medido en el momento de la toma de muestra Qp: Caudal promedio durante el muestreo n: Número de muestras tomadas</p> | | | | |

Mgt. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Asesora de Tesis

DNI: 10701822

Ing. Dante Vargas Rodríguez

Co asesor de tesis

DNI: 23903816



Figura 64:

Ficha de Laboratorio

FICHA DE LABORATORIO

Datos de la Muestra

| |
|----------------------|
| Muestreador: |
| Punto de Muestreo: |
| Fecha de Muestreo: |
| Hora de Muestreo: |
| Cantidad de Muestra: |

Ensayos

| N° | Código | Hora de Inicio | Hora de Fin | Voltaje (V) | Amperaje (A) | PARAMETROS | | | Observaciones |
|----|--------|----------------|-------------|-------------|--------------|------------------|----|----------------|---------------|
| | | | | | | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (NTU) | |
| 0 | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | |

Mgt. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Asesora de Tesis

DNI: 40701822

Ing. Dante Vargas Rodríguez

Co asesor de tesis

DNI: 23903816



F. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Tabla 29:

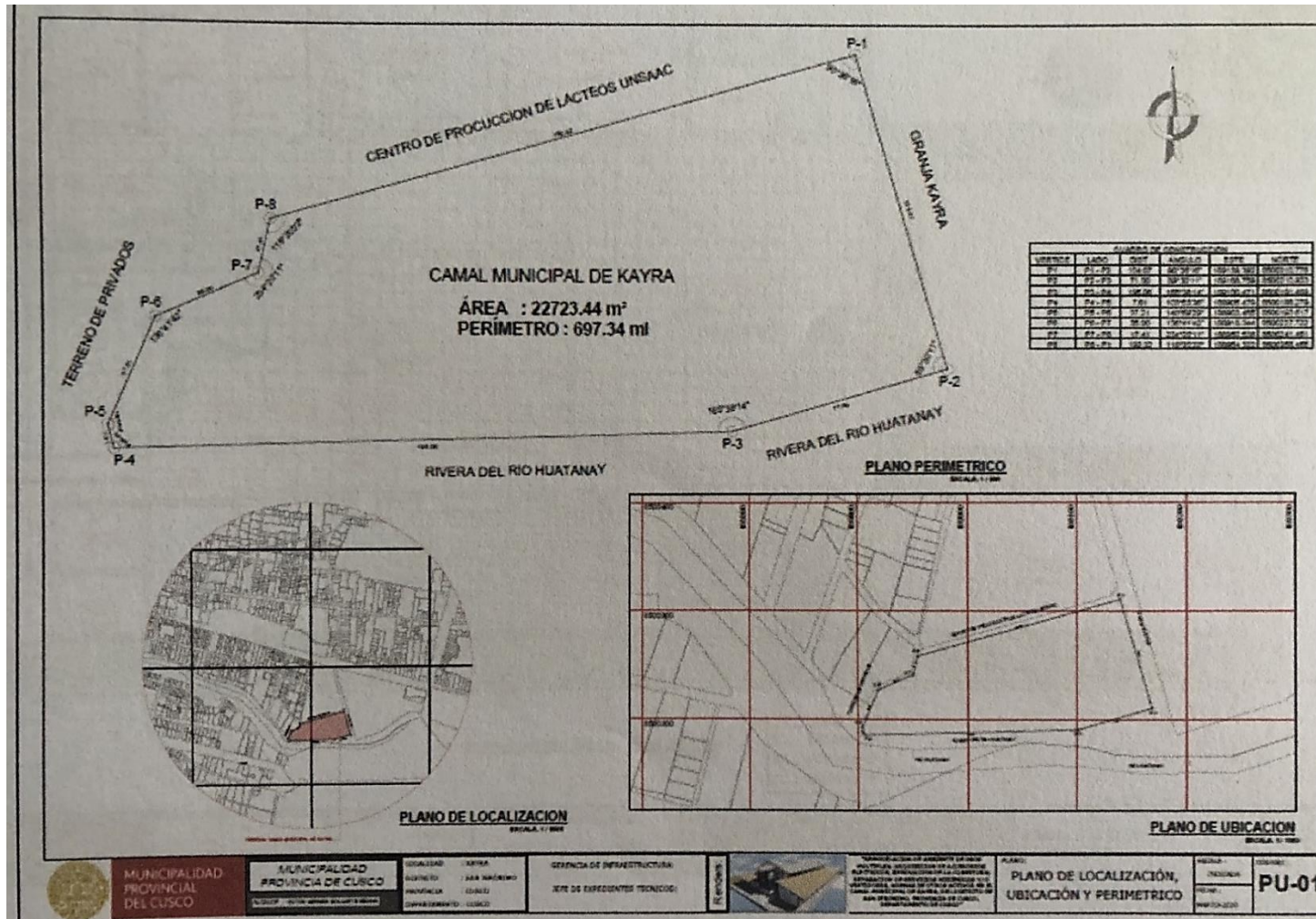
Validación de instrumentos

| INSTRUMENTOS | VALIDACIÓN |
|---------------------------------------|--|
| Fichas de recolección de datos | Validados por el ANA en su publicación denominada: “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”; donde se hizo uso de los Anexos I, II, III y IV. |
| Reportes de laboratorio | Emitidos por el Laboratorio Louis Pasteur S.R. Ltda. el cual se encuentra acreditado por el INACAL, dando validez y confiabilidad a sus reportes. |
| Ficha de laboratorio | Instrumento propiamente elaborado validado por profesionales de la UAC. |



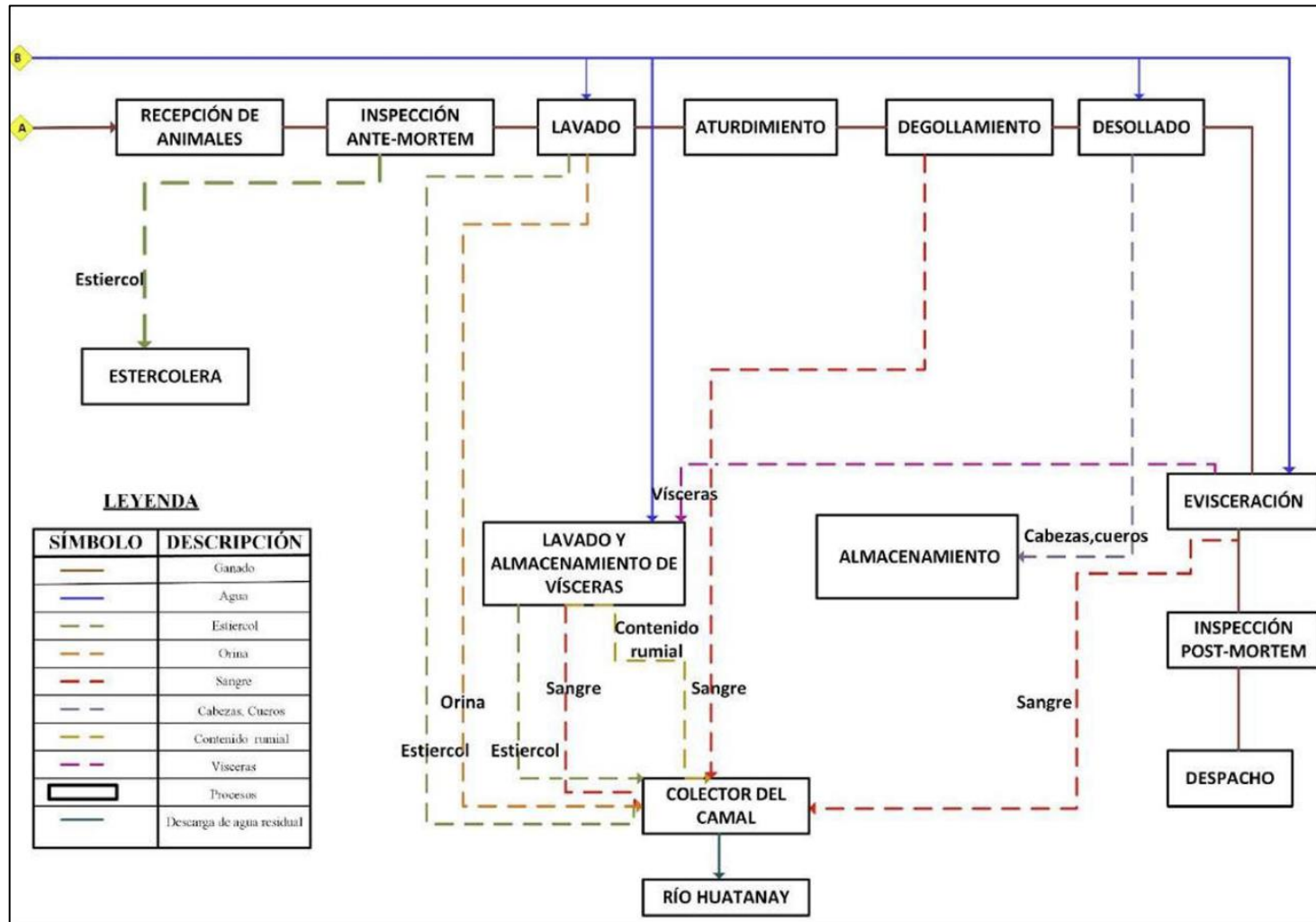
G. ANEXOS

Anexo 01: Plano de Localización, Ubicación y Perimétrico – Camal M. de K'ayra





Anexo 02: Flujograma del Proceso de Faenado del Camal Municipal de Cusco



Fuente: (Zavaleta, 2022)



Anexo 03: Anexos del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales

Registro de Datos en Campo

CUENCA: Punto de Vertimiento - Canal H. de K'ayra REALIZADO POR: Bach. Juan Bryan Sánchez Wigueria
 AAA/ALA: _____ RESPONSABLE: Bach. Gonzalo Guillen Tito

| Punto de monitoreo | Descripción origen/ubicación | Localidad | Distrito | Provincia | Departamento | Coordenadas ¹ | | Altura msnm | Fecha | Hora | pH | T | CC | COND | Profundidad | Observaciones ² |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------------|-----------|--------------|--------------------------|-----------|----------------|----------|---------|-----|-------|---------|------|--------------|----------------------------|
| | | | | | | °C | mg/l | | | | | µS/cm | m/s o m | | | |
| CKay-01 | Canal H. de K'ayra | K'ayra | S. Jerónimo | Cusco | Cusco | 8499811,50 | 188909,80 | 3200 | 13/11/23 | 9:15 am | 7,6 | 22,9 | 28% | 1519 | P. Vertiente | Color rojo sangie |
| CKay-01 | Canal H. de K'ayra | K'ayra | S. Jerónimo | Cusco | Cusco | 8499811,50 | 188909,80 | 3200 | 15/11/23 | 9:10 am | 7,6 | 20,1 | 30% | 1520 | P. Vertiente | Color ocre |
| CKay-01 | Canal H. de K'ayra | K'ayra | S. Jerónimo | Cusco | Cusco | 8499811,50 | 188909,80 | 3200 | 17/11/23 | 9:05 am | 7,7 | 23,3 | 25% | 1515 | P. Vertiente | Color rojo ladrillo |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

¹ Las coordenadas del punto de control deberán ser expresadas en sistema UTM para puntos en cuerpos de agua continental y en sistema geográfico para puntos de monitoreo en el mar, ambos en estándar geodésico WGS84.
² Para el caso de cuerpo lotico, indicar el caudal. Para el caso de cuerpo léntico o marino-costero, indicar la profundidad.
 Las observaciones en campo se refieren, entre otros, a características atípicas tales como coloración anormal del agua, abundancia de algas o vegetación acuática, presencia de residuos, actividades humanas, presencia de animales y otros factores que modifiquen las características naturales del cuerpo de agua.


 Firma del Responsable del Monitoreo



Etiqueta para Muestra de Agua

| | | | |
|----------------------------|--|-----------------------------|------------------------|
| Solicitante/cliente: | Bach. Gonzalo Guillen Tito | | |
| Nombre laboratorio: | Lab. Ing. Ambiental - UAC | | |
| Código punto de monitoreo: | CKay-01 | | |
| Tipo de cuerpo de agua: | Efluente Residual - M. Compuesta | | |
| Fecha de muestreo: | 13/11/23 | Hora: | 11:25 am |
| Muestreado por: | Bach. Juan Bryan Sánchez Viguera | | |
| Parámetro requerido: | T° - ph - Turbidez - DQO | | |
| Preservada: | <input checked="" type="checkbox"/> SÍ | <input type="checkbox"/> NO | Tipo reactivo: Ninguno |

Etiqueta para Muestra de Agua

| | | | |
|----------------------------|--|-----------------------------|------------------------|
| Solicitante/cliente: | Bach. Gonzalo Guillen Tito | | |
| Nombre laboratorio: | Lab. Ing. Ambiental - UAC | | |
| Código punto de monitoreo: | CKay-01 | | |
| Tipo de cuerpo de agua: | Efluente Residual - M. Compuesta | | |
| Fecha de muestreo: | 15/11/23 | Hora: | 11:25 am |
| Muestreado por: | Bach. Juan Bryan Sánchez Viguera | | |
| Parámetro requerido: | T° - ph - Turbidez - DQO | | |
| Preservada: | <input checked="" type="checkbox"/> SÍ | <input type="checkbox"/> NO | Tipo reactivo: Ninguno |

Etiqueta para Muestra de Agua

| | | | |
|----------------------------|--|-----------------------------|------------------------|
| Solicitante/cliente: | Bach. Gonzalo Guillen Tito | | |
| Nombre laboratorio: | Lab. Ing. Ambiental - UAC | | |
| Código punto de monitoreo: | CKay-01 | | |
| Tipo de cuerpo de agua: | Efluente Residual - M. Compuesta | | |
| Fecha de muestreo: | 17/11/23 | Hora: | 11:25 am |
| Muestreado por: | Bach. Juan Bryan Sánchez Viguera | | |
| Parámetro requerido: | T° - ph - Turbidez - DQO | | |
| Preservada: | <input checked="" type="checkbox"/> SÍ | <input type="checkbox"/> NO | Tipo reactivo: Ninguno |

Etiqueta para Muestra de Agua

| | | | |
|----------------------------|--|-----------------------------|----------------|
| Solicitante/cliente: | | | |
| Nombre laboratorio: | | | |
| Código punto de monitoreo: | | | |
| Tipo de cuerpo de agua: | | | |
| Fecha de muestreo: | | Hora: | |
| Muestreado por: | | | |
| Parámetro requerido: | | | |
| Preservada: | <input checked="" type="checkbox"/> SÍ | <input type="checkbox"/> NO | Tipo reactivo: |



Registro de Identificación del Punto de Monitoreo

Nombre del cuerpo de agua:

Punto de Vertimiento del Canal N. de K'ayra

Clasificación del cuerpo de agua:

Agua Residual

(Categorizado de acuerdo a la R.L. N°202-2010-094 y modificaciones posteriores)

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero:

-

(Código Plataformas)

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo:

CKAT-01

(Según lo indicado en ítem 6.2.4 del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Descripción:
(Origen/Ubicación)

Punto de Vertimiento del Canal N. de K'ayra hacia el Rio Huatanay

Accesibilidad:

(Describir detalladamente la vía de acceso, para que otras personas puedan encontrar fácilmente el punto de monitoreo)

Acceso peatonal del lado derecho del Canal N. de K'ayra

Representatividad:

(Describir el tramo de río o quebrada o la bahía o zona de laguna a mar que el punto de monitoreo representa)

Margen Izquierdo del Rio Huatanay

Finalidad del monitoreo:

(Describir la finalidad del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminante, ...)

Trabajo de Investigación - Tesis de Pregrado

Reconocimiento del Entorno:

(Indicar referencias topográficas que permitan el fácil reconocimiento del punto en campo.)

Continuar caminando el acceso peatonal hasta antes de llegar al puente

UBICACIÓN

Distrito:

San Jerónimo

Provincia:

Cusco

Departamento:

Cusco

Localidad:

K'ayra

Coordenadas (WGS84):

Sistema de coordenadas:

Proyección UTM

Geográficas

Norte/Latitud: 8499811.50

Zona: 19 S (17, 18 o 19; para UTM solamente)

Este/Longitud: 122909.20

Altitud: 3200 (metros sobre el nivel del mar)

Croquis de Ubicación del Punto de Monitoreo (referencia)



Fotografía:

(tomada a un mínimo de 20 mts. de distancia del punto de monitoreo)





Anexo 04: Calculo de Alícuota

MUESTRA COMPUESTA

Primer día

Datos de la Muestra

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Muestreador: | Boch. Juan B. Sánchez. V. |
| Punto de Muestreo: | CKay-01 |
| Fecha de Muestreo: | 13/11/23 |
| Hora de Muestreo: | 09:15 am |
| Cantidad de Muestra: | 20 litros |

Muestras Simples (Alícuotas)

| N° | Tiempo (s) | Volumen (L) | Qi (L/s) | V. Alícuota (L) |
|--------------------------|------------|-------------|----------|-----------------|
| 1 | 15,02 | 15 | 1,0 | 1,3 |
| 2 | 30,13 | 15 | 0,5 | 0,7 |
| 3 | 2,29 | 15 | 6,6 | 8,8 |
| 4 | 23,93 | 15 | 0,6 | 0,8 |
| 5 | 2,39 | 15 | 6,3 | 8,4 |
| Caudal Promedio | | | | 3 l/s |
| Volumen Total a Componer | | | | 20 litros |

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:
 Q = Flujo volumétrico o caudal (L/s)
 V = Volumen(L)
 t = Tiempo(s)

$$Vi = \frac{V \times Qi}{n \times Qp}$$

Donde:
 Vi: Volumen de cada alícuota o porción de muestra
 V: Volumen total a componer
 Qi: Caudal instantáneo medido en el momento de la toma de muestra
 Qp: Caudal promedio durante el muestreo
 n: Número de muestras tomadas

Mgt. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Asesora de Tesis

DNI: 40701822

Ing. Dante Vargas Rodríguez

Co asesor de tesis

DNI: 23903816



MUESTRA COMPUESTA

Segundo día

Datos de la Muestra

| | |
|----------------------|----------------------------|
| Muestreador: | Bach. Juan B. Sánchez - V. |
| Punto de Muestreo: | Chay - 01 |
| Fecha de Muestreo: | 15/11/23 |
| Hora de Muestreo: | 09:10 am |
| Cantidad de Muestra: | 20 litros |

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:
Q = Flujo volumétrico o caudal (L/s)
V = Volumen(L)
t = Tiempo(s)

Muestras Simples (Alicuotas)

| N° | Tiempo (s) | Volumen (L) | Qi (L/s) | V. Alicuota (L) |
|--------------------------|------------|-------------|----------|-----------------|
| 1 | 21,31 | 15 | 0,7 | 1,6 |
| 2 | 14,81 | 15 | 1,0 | 2,6 |
| 3 | 7,35 | 15 | 2,0 | 5,3 |
| 4 | 14,28 | 15 | 1,1 | 2,7 |
| 5 | 5,1 | 15 | 2,9 | 7,6 |
| Caudal Promedio | | | | 1,54 l/s |
| Volumen Total a Componer | | | | 20 litros |

$$Vi = \frac{V \times Qi}{n \times Qp}$$

Donde:
Vi: Volumen de cada alicuota o porción de muestra
V: Volumen total a componer
Qi: Caudal instantáneo medido en el momento de la toma de muestra
Qp: Caudal promedio durante el muestreo
n: Número de muestras tomadas

Mgt. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Asesora de Tesis

DNI: 40701822

Ing. Dante Vargas Rodríguez

Co asesor de tesis

DNI: 23903816



MUESTRA COMPUESTA

Tercer día

Datos de la Muestra

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Muestreador: | Boch- Juan B. Sánchez- V. |
| Punto de Muestreo: | CLM-01 |
| Fecha de Muestreo: | 17/11/23 |
| Hora de Muestreo: | 09:05 am |
| Cantidad de Muestra: | 20 litros |

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Flujo volumétrico o caudal (L/s)

V = Volumen(L)

t = Tiempo(s)

Muestras Simples (Alicuotas)

| N° | Tiempo (s) | Volumen (L) | Qi (L/s) | V. Alicuota (L) |
|--------------------------|------------|-------------|----------|-----------------|
| 1 | 52,9 | 15 | 0,3 | 0,4 |
| 2 | 3,53 | 15 | 4,2 | 5,7 |
| 3 | 3,9 | 15 | 3,8 | 5,2 |
| 4 | 6,32 | 15 | 2,4 | 3,2 |
| 5 | 3,69 | 15 | 4,1 | 5,5 |
| Caudal Promedio | | | | 2,96 L/s |
| Volumen Total a Componer | | | | 20 litros |

$$Vi = \frac{V \times Qi}{n \times Qp}$$

Donde:

Vi: Volumen de cada alícuota o porción de muestra

V: Volumen total a componer

Qi: Caudal instantáneo medido en el momento de la toma de muestra

Qp: Caudal promedio durante el muestreo

n: Número de muestras tomadas

Mgt. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Asesora de Tesis

DNI: 40701822

Ing. Dante Vargas Rodríguez

Co asesor de tesis

DNI: 23903816



Anexo 05: Marca y Modelo de Equipos Utilizados

| Nombre | Marca | Modelo | Imagen |
|--------------------------|----------------|------------|--|
| Termómetro digital | ELITECH | WT-1 |  |
| pH metro digital | PHMETER ATC | PH-009(I) |  |
| Turbidímetro | LaMotte | 2020e |  |
| Transformador de energía | UNI-T | UTP3315TFL |  |



Anexo 06: Ficha de Registro de Laboratorio

FICHA DE LABORATORIO

Primer día

Datos de la Muestra

| | |
|----------------------|----------------------------------|
| Muestreador: | Bach. Juan Bryan Sánchez Viguera |
| Punto de Muestreo: | CK04-01 |
| Fecha de Muestreo: | 13/11/23 |
| Hora de Muestreo: | 09:15 am |
| Cantidad de Muestra: | 2 lts. por ensayo |

Ensayos

| N° | Código | Hora de Inicio | Hora de Fin | Voltaje (V) | Amperaje (A) | PARAMETROS | | | Observaciones |
|----|---------------------|----------------|-------------|-------------|--------------|------------------|------|----------------|--------------------------------|
| | | | | | | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (NTU) | |
| 0 | CK04-01 | - | - | - | - | 22,9 | 7,6 | 903,3 | - |
| 1 | ΔInox - MinT - MaxP | 12:40 pm | 01:10 pm | 5,5 | 5,06 | 26,3 | 11,9 | 39,7 | Cobrición verdeza en la espuma |
| 2 | Δlum - MinT - MaxP | 01:32 pm | 02:02 pm | 6,1 | 5,05 | 28,5 | 8,4 | 39,6 | Excesiva generación de espuma |
| 3 | ΔInox - MaxT - MaxP | 02:21 pm | 03:21 pm | 6 | 5,06 | 30,5 | 12,1 | 42,6 | Cobrición verdeza en la espuma |
| 4 | Δlum - MaxT - MaxP | 03:39 pm | 04:39 pm | 6,4 | 5,04 | 34,8 | 8,4 | 44 | Excesiva generación de espuma |
| 5 | ΔInox - MinT - MinP | 05:09 pm | 05:39 pm | 10,8 | 5,04 | 28,6 | 10,8 | 27 | Cobrición verdeza en la espuma |
| 6 | Δlum - MinT - MinP | 05:57 pm | 06:57 pm | 11,7 | 5,05 | 29,1 | 8,7 | 18,6 | Excesiva generación de espuma |
| 7 | ΔInox - MaxT - MinP | 06:44 pm | 07:44 pm | 11,8 | 5,05 | 36,8 | 11,2 | 43 | Cobrición verdeza en la espuma |
| 8 | Δlum - MaxT - MinP | 08:06 pm | 09:06 pm | 12,7 | 5,04 | 41,2 | 9,3 | 26,5 | Excesiva generación de espuma |

Mgt. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Asesora de Tesis

DNI: 40701822

Ing. Dante Vargas Rodríguez

Co asesor de tesis

DNI: 23903816



FICHA DE LABORATORIO

Segundo día

Datos de la Muestra

| | |
|----------------------|---------------------------------|
| Muestreador: | Bach. Juan Bryan Sánchez Vignia |
| Punto de Muestreo: | Alkay-01 |
| Fecha de Muestreo: | 15/11/23 |
| Hora de Muestreo: | 09:10 am |
| Cantidad de Muestra: | 2 lts. por ensayo |

Ensayos

| N° | Código | Hora de Inicio | Hora de Fin | Voltaje (V) | Amperaje (A) | PARAMETROS | | | Observaciones |
|----|---------------------|----------------|-------------|-------------|--------------|------------------|------|----------------|---------------------------------|
| | | | | | | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (NTU) | |
| 0 | Alkay-01 | - | - | - | - | 20,1 | 7,6 | 969 | - |
| 1 | ΔInox - MinT - MaxP | 12:10 pm | 12:40 pm | 6,8 | 5,07 | 23,9 | 11,8 | 41,5 | Coloración verdosa en la espuma |
| 2 | ΔUm - MinT - MaxP | 12:58 pm | 01:28 pm | 6,6 | 5,04 | 25,9 | 9 | 12,2 | Excesiva generación de espuma |
| 3 | ΔInox - MaxT - MaxP | 01:45 pm | 02:45 pm | 6 | 5,03 | 22,9 | 12 | 48,8 | Coloración verdosa en la espuma |
| 4 | ΔUm - MaxT - MaxP | 03:08 pm | 04:08 pm | 6,3 | 5,03 | 25,4 | 8,5 | 40,4 | Excesiva generación de espuma |
| 5 | ΔInox - MinT - MinP | 04:22 pm | 04:52 pm | 12,2 | 5,04 | 27,6 | 11 | 42,6 | Coloración verdosa en la espuma |
| 6 | ΔUm - MinT - MinP | 05:15 pm | 05:45 pm | 12,9 | 5,04 | 30,6 | 9,1 | 33,2 | Excesiva generación de espuma |
| 7 | ΔInox - MaxT - MinP | 06:02 pm | 07:02 pm | 11,1 | 5,04 | 34,4 | 11,9 | 43,5 | Coloración verdosa en la espuma |
| 8 | ΔUm - MaxT - MinP | 07:25 pm | 08:25 pm | 12,3 | 5,03 | 32,3 | 9,4 | 19,6 | Excesiva generación de espuma |

Mgt. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Asesora de Tesis

DNI: 40701822

Ing. Dante Vargas Rodríguez

Co asesor de tesis

DNI: 23903816



FICHA DE LABORATORIO

Tercer día

Datos de la Muestra

| | |
|----------------------|---------------------------------|
| Muestreador: | Bach. Juan Bryan Sánchez Vignia |
| Punto de Muestreo: | CKay - 01 |
| Fecha de Muestreo: | 17/11/23 |
| Hora de Muestreo: | 09:05 am |
| Cantidad de Muestra: | 2 lts - por muestra |

Ensayos

| N° | Código | Hora de Inicio | Hora de Fin | Voltaje (V) | Amperaje (A) | PARAMETROS | | | Observaciones |
|----|---------------------|----------------|-------------|-------------|--------------|------------------|------|----------------|---------------------------------|
| | | | | | | Temperatura (°C) | pH | Turbidez (NTU) | |
| 0 | CKay-01 | - | - | - | - | 23,3 | 7,7 | 909 | - |
| 1 | DIrox - MinT - MaxP | 11:44 am | 12:14 pm | 6,4 | 5,06 | 26,6 | 11,8 | 38,7 | Coloración verdosa en la espuma |
| 2 | DIum - MinT - MaxP | 12:34 pm | 01:04 pm | 5,9 | 5,03 | 29,8 | 8,2 | 48 | Exceso generación de espuma |
| 3 | DIrox - MaxT - MaxP | 01:24 pm | 02:24 pm | 6 | 5,04 | 29,8 | 12,7 | 33,3 | Coloración verdosa en la espuma |
| 4 | DIum - MaxT - MaxP | 02:42 pm | 03:42 pm | 6,2 | 5,04 | 34,6 | 8,4 | 43 | Exceso generación de espuma |
| 5 | DIrox - MinT - MinP | 04:09 pm | 04:39 pm | 10,2 | 5,03 | 28,6 | 11,1 | 45,6 | Coloración verdosa en la espuma |
| 6 | DIum - MinT - MinP | 04:44 pm | 05:14 pm | 12,9 | 5,04 | 35,8 | 8,9 | 41 | Exceso generación de espuma |
| 7 | DIrox - MaxT - MinP | 05:28 pm | 06:27 pm | 12,2 | 5,04 | 40,7 | 11,9 | 25,3 | Coloración verdosa en la espuma |
| 8 | DIum - MaxT - MinP | 06:40 pm | 07:40 pm | 12,5 | 5,03 | 45,1 | 9,4 | 37,6 | Exceso generación de espuma |

Mgt. Ing. Luz Guisell Aedo Vega Centeno

Asesora de Tesis

DNI: 40701822


Ing. Dante Vargas Rodríguez

Co asesor de tesis

DNI: 23903816

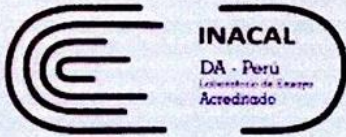


Anexo 07: Resultados del Análisis de Laboratorio



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-042



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 042

INFORME DE ENSAYO

LLP-5069-2023 HASTA LLP-5077-2023

SO-1559-2023

Pág 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE
 Solicitante: Gonzalo Guillen Tito
 Dirección Legal: Asociación Villa Postal – Aproximate A-24 – San Jeronimo

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA
 Nombre del Producto: Agua residual
 Matriz química: Agua residual
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2023/11/14
 Fecha de Ensayo: 2023/11/14
 Nro Cotización: 44-11-2023

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):
 Muestreo realizado por: Juan Brayan Sanchez Viguera
 Fecha de Muestreo: 2023/11/13
 Procedencia de las Muestras: San Jerónimo – UAC
 Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 frasco de polietileno de 250ml c/u, transportado en cadena de frío.


REPORTE DE RESULTADOS
 Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2023/11/20

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.


RESULTADOS QUÍMICOS

| Código | Hora de toma de muestra | Nombre del/los Producto(s) | Unidad | Resultado(s) |
|---------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| | | | | DQO |
| LLP-5069-2023 | 11:25 | Camal K'ayra | DQO as mg/L O ₂ | 3897,60 |
| LLP-5070-2023 | 13:26 | Ensayo N°1 | DQO as mg/L O ₂ | 1486,40 |
| LLP-5071-2023 | 14:15 | Ensayo N°2 | DQO as mg/L O ₂ | 2496,00 |
| LLP-5072-2023 | 15:34 | Ensayo N°3 | DQO as mg/L O ₂ | 1536,00 |
| LLP-5073-2023 | 16:57 | Ensayo N°4 | DQO as mg/L O ₂ | 2016,00 |
| LLP-5074-2023 | 17:50 | Ensayo N°5 | DQO as mg/L O ₂ | 1889,60 |
| LLP-5075-2023 | 18:39 | Ensayo N°6 | DQO as mg/L O ₂ | 2412,00 |
| LLP-5076-2023 | 19:59 | Ensayo N°7 | DQO as mg/L O ₂ | 748,80 |
| LLP-5077-2023 | 21:20 | Ensayo N°8 | DQO as mg/L O ₂ | 1008,00 |

Métodos de Referencia:
Demanda Química de Oxígeno (DQO) CHEMICAL OXYGEN DEMAND: CLOSED REFLEX TITRIMETRIC METHOD: SM/5210-APHA-1820-07-07, Part 5220 C 2005 C 2005 C 2005 C 2005 C 2005 C



C.B.P. DIRECTOR DE LABORATORIO LOUIS PASTEUR



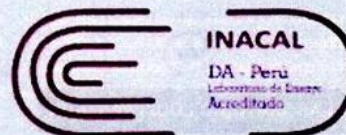
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 11 MARZO 2023

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco
 Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151
 laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N° LE - 042

INFORME DE ENSAYO
LLP-5146-2023 HASTA LLP-5154-2023
SO-1581-2023

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Gonzalo Guillen Tito
Dirección Legal: Asociación Villa Postal – Aproximote A-24 – San Jeronimo

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua residual
Matriz química: Agua residual
Fecha de Ingreso de Muestra: 2023/11/16
Fecha de Ensayo: 2023/11/16
Nro Cotización: 44-11-2023

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Juan Sanchez Viguria
Fecha de Muestreo: 2023/11/15
Procedencia de las Muestras: San Jerónimo – UAC
Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 frasco de polietileno de 250ml c/u, transportado en cadena de frio

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2023/11/21

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS QUÍMICOS

| Código | Hora de toma de muestra | Nombre del/los Producto(s) | Unidad | Resultado(s) |
|---------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| | | | | DQO |
| LLP-5146-2023 | 11:20 | Camal K'ayra | DQO as mg/L O ₂ | 2248,40 |
| LLP-5147-2023 | 12:50 | Ensayo N°1 | DQO as mg/L O ₂ | 809,80 |
| LLP-5148-2023 | 13:40 | Ensayo N°2 | DQO as mg/L O ₂ | 1196,80 |
| LLP-5149-2023 | 15:00 | Ensayo N°3 | DQO as mg/L O ₂ | 518,40 |
| LLP-5150-2023 | 16:22 | Ensayo N°4 | DQO as mg/L O ₂ | 960,00 |
| LLP-5151-2023 | 17:10 | Ensayo N°5 | DQO as mg/L O ₂ | 880,00 |
| LLP-5152-2023 | 17:58 | Ensayo N°6 | DQO as mg/L O ₂ | 1248,00 |
| LLP-5153-2023 | 19:30 | Ensayo N°7 | DQO as mg/L O ₂ | 585,60 |
| LLP-5154-2023 | 21:00 | Ensayo N°8 | DQO as mg/L O ₂ | 752,00 |

Métodos de Referencia:

Demanda Oxigénica de Oxígeno (DQO)

CHEMICAL OXYGEN DEMAND, CLOSED REF LUX TITRIMETRIC METHOD, ISO 15705-APHA-APHA-WAT, Part 5201 C, 200, 04

[Handwritten signature]
LABORATORIO LOUIS PASTEUR



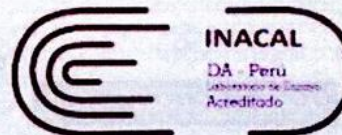
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 11 MARZO 2023

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N° LE - 042

INFORME DE ENSAYO
LLP-5217-2023 HASTA LLP-5225-2023
SO-1614-2023

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Gonzalo Guillen Tito
Dirección Legal: Asociación Villa Postal A-24 – Aproximado – San Jerónimo

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua residual
Matriz química: Agua residual
Fecha de Ingreso de Muestra: 2023/11/18
Fecha de Ensayo: 2023/11/18
Nro Cotización: 44-11-2023

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Juan Brayan Sanchez Viguria
Fecha de Muestreo: 2023/11/17
Procedencia de las Muestras: San Jerónimo – UAC
Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 frasco de polietileno de 250ml c/u. transportado en cadena de frío

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2023/11/25

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS QUÍMICOS

| Código | Hora de toma de muestra | Nombre del/los Producto(s) | Unidad | Resultado(s) |
|---------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| | | | | DQO |
| LLP-5217-2023 | 11:25 | Carnal K'ayra | DQO as mg/L O ₂ | 3836,80 |
| LLP-5218-2023 | 12:32 | Ensayo N°1 | DQO as mg/L O ₂ | 1433,60 |
| LLP-5219-2023 | 13:17 | Ensayo N°2 | DQO as mg/L O ₂ | 2385,60 |
| LLP-5220-2023 | 14:36 | Ensayo N°3 | DQO as mg/L O ₂ | 809,60 |
| LLP-5221-2023 | 16:02 | Ensayo N°4 | DQO as mg/L O ₂ | 1443,20 |
| LLP-5222-2023 | 16:47 | Ensayo N°5 | DQO as mg/L O ₂ | 1091,20 |
| LLP-5223-2023 | 17:23 | Ensayo N°6 | DQO as mg/L O ₂ | 2328,00 |
| LLP-5224-2023 | 18:43 | Ensayo N°7 | DQO as mg/L O ₂ | 432,00 |
| LLP-5225-2023 | 19:52 | Ensayo N°8 | DQO as mg/L O ₂ | 707,20 |

Métodos de Referencia:

Control Químico de Oxígeno (DQO)

CHEMICAL OXYGEN DEMAND: CLOSED REFLUX TITRIMETRIC METHOD: ISO 15705:2004/AFNOR NF T 92-06

Mercedes Mariela Quijote Flores
C. R. 9217
DIRECTORA DEL SISTEMA DE CALIDAD



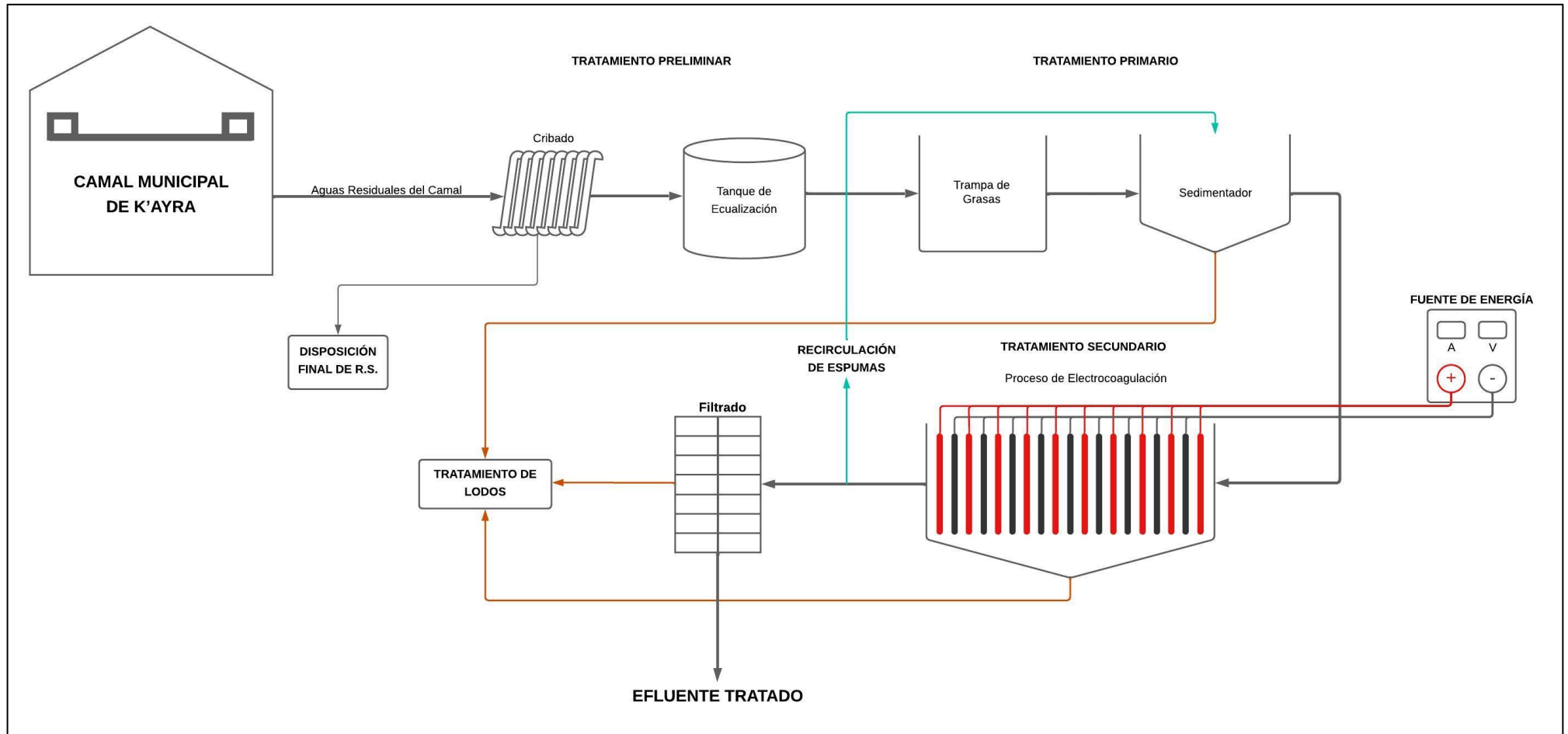
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 11 MARZO 2023

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco
Teléfono: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.labiouispasteur.pe



Anexo 08: Diagrama de Flujo – Propuesta de Tren de Tratamiento para los Efluentes del Camal M. de K'ayra



Anexo 09: Visita a la Sub Gerencia Camal Municipal de K'ayra

La visita tuvo lugar el 27 de abril del 2023 y estuvo dirigida por la Doctora Veterinaria encargada del control de calidad y salubridad de las carnes. Tuvo como objetivos el conocer el complejo y proceso de faenado de bovinos, así como identificar los puntos de generación de efluentes residuales (Figura 68).

Cabe mencionar que, para el ingreso al Camal de K'ayra, se hizo uso de equipos de protección personal (EPPS), tales como: casco de protección, cubrebocas, bata y/o mameluco, guantes quirúrgicos y botas de jebe.

Figura 65: Visita al Camal M. de K'ayra



Se identificó aquellas áreas donde se genera mayor cantidad de efluentes residuales (Figura 72), siendo estos el área de sangrado (Figura 69), área de lavado de viseras (Figura 70) y área de corte dorsal (Figura 71). Así mismo se apreció los canales por donde escurrían dichas aguas.

Figura 66: Área de sangrado



Figura 67: Área de lavado de vísceras



Figura 68: Área de corte dorsal

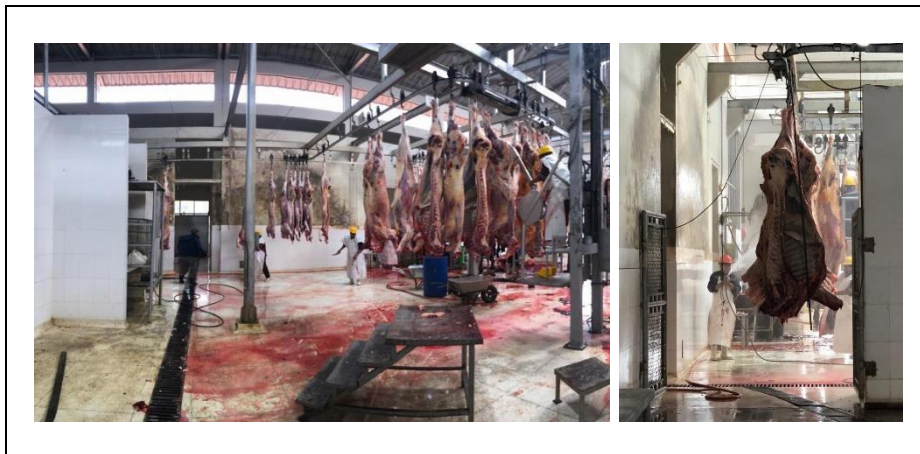



Figura 69: Canales de evacuación de aguas residuales





Anexo 10: Límites Máximos Permisibles (LMP) en los Vertimientos Puntuales de Aguas Residuales de Actividades Productivas de Ganadería (RESOLUCIÓN N°0631-MINAMBIENTE COLOMBIA)

 **MINAMBIENTE**

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

RESOLUCIÓN No. **0631**

(7 MAR 2015)

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

EL MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

En uso de sus facultades legales y en especial las conferidas por el numeral 25 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993 y el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010 modificado por el artículo 1 del Decreto 4728 de 2010 y,

CONSIDERANDO:

Que el artículo 49 de la Constitución Política establece que el saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del Estado.

Que los artículos 79 y 80 de la Constitución Política establecen como obligación del Estado, proteger la diversidad e integridad del ambiente; fomentar la educación ambiental; prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental; imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

Que de acuerdo con el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010, modificado por el artículo 1 del Decreto 4728 de 2010, corresponde al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, fijar los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir los vertimientos puntuales a las aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.


Que el artículo 5 de la Ley 99 de 1993 establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene entre sus funciones, regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente y dictar regulaciones de carácter general tendientes a controlar y reducir la contaminación hídrica en todo el territorio nacional (numerales 2 y 11).

En mérito de lo expuesto,

RESUELVE:

CAPÍTULO I
DISPOSICIONES GENERALES

ARTÍCULO 1. Objeto y Ámbito de Aplicación. La presente Resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes





Resolución No. **0631** del **07 MAR 2015** Hoja No. 2

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Igualmente, se establecen los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios, de conformidad con el artículo 18 de la presente Resolución.

En el Anexo 2 se relacionan las actividades industriales, comerciales o de servicios, para las cuales se definieron parámetros y valores límites máximos permisibles específicos y de análisis y reporte.

Parágrafo. La presente resolución no aplica a los vertimientos puntuales que se realicen a aguas marinas o al suelo.

ARTÍCULO 2. Definiciones. Para la aplicación de la presente Resolución se adoptan las siguientes definiciones:

Aguas Residuales Domésticas - ARD: Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:

1. Descargas de los retretes y servicios sanitarios.
2. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial).

Aguas Residuales no Domésticas - ARnD: Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas - ARD.

CAPÍTULO II DISPOSICIONES APLICABLES A LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE AGUAS RESIDUALES

ARTÍCULO 3. Del cumplimiento de la norma de vertimientos cuando la captación y la descarga se realicen en el mismo cuerpo de agua. Cuando la captación de agua y la descarga de las aguas residuales se realicen en el mismo cuerpo de agua superficial, se procederá a realizar la sustracción del valor de la carga entre las mismas de las cantidades máxicas (Kg) de los metales y metaloides y de los elementos, sustancias o parámetros considerados para la Tasa Retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales.

Para realizar lo anterior, se utilizan los balances de materia o de masa y las caracterizaciones del agua de la captación y la del vertimiento correspondiente, de acuerdo con la actividad industrial, comercial o de servicios específica.

Una vez efectuada la sustracción, se realiza el cálculo del valor de la concentración del parámetro en el vertimiento puntual y se hace el respectivo control del cumplimiento de la presente Resolución, de acuerdo con los límites máximos permisibles exigidos para la respectiva actividad industrial, comercial o de servicios.





Resolución No.

0631

del

17 MAR 2015

Hoja No. 3

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

Parágrafo 1. Los balances de materia o de masa y la realización de la caracterización del(os) vertimiento(s) puntual(es) deberán realizarse simultáneamente en el mismo período de tiempo calendario.

Parágrafo 2. El balance de materia o de masa debe satisfacer la Ley de Conservación de la Materia o de la Masa.

ARTÍCULO 4. De los vertimientos puntuales con sustancias radiactivas o radioisótopos. Las sustancias radiactivas o radioisótopos se rigen por lo dispuesto en la Resolución 18 0005 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía "Por la cual se adopta el Reglamento para la gestión de los desechos radiactivos en Colombia" o aquella que la modifique o sustituya.

ARTÍCULO 5. Del parámetro de temperatura y de la zona de mezcla térmica. Para todas las actividades industriales, comerciales o de servicios que realicen vertimientos puntuales de aguas residuales a un cuerpo de agua superficial o a los sistemas de alcantarillado público, tendrán en el parámetro de temperatura como valor límite máximo permisible el de 40,00 °C.

Para las actividades industriales, comerciales o de servicios (excepto la de generación de energía eléctrica por procesos térmicos (termoeléctricas)), que realicen vertimientos puntuales de aguas residuales a cuerpos de aguas superficiales, la diferencia de los valores de temperatura en la zona de mezcla térmica del cuerpo de agua superficial receptor con respecto a la temperatura del mismo antes del punto de vertimiento puntual, a una distancia máxima de cien metros (100,00 m) deberá ser menor o igual a 5,00 °C, considerando para las mediciones y determinaciones la sección transversal y perpendicular del cauce del cuerpo de agua receptor.

Para la actividad de generación de energía eléctrica por procesos térmicos (termoeléctricas), que realicen vertimientos puntuales de aguas residuales a cuerpos de aguas superficiales, deberán presentar ante la Autoridad Ambiental competente la siguiente información con los respectivos soportes técnicos:

1. Las determinaciones de las diferencias de los valores de temperatura en la zona de mezcla térmica del cuerpo de agua superficial receptor tomando como referencia las condiciones de la temperatura del mismo antes del punto de vertimiento puntual y simultáneamente,
2. Las determinaciones de los cambios de los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos del cuerpo de agua superficial receptor y tomando como referencia las condiciones del mismo antes del punto de vertimiento puntual.

Ambas determinaciones se hacen considerando para las mediciones la sección transversal y perpendicular del cauce del cuerpo de agua receptor y deben efectuarse para diferentes periodos climáticos.

Con esta información, la Autoridad Ambiental competente le establecerá:

- a. La diferencia máxima de temperatura a una distancia de cien metros (100,00 m), en la zona de mezcla térmica y simultáneamente,





Resolución No. **0631** del **07 MAR 2015** Hoja No. 4

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

- b. La distancia máxima a la cual se tiene una diferencia de temperatura menor o igual a 5,00 °C.

Las distancias consideradas en este artículo se determinan como la distancia paralela al eje longitudinal del cuerpo de agua superficial entre el punto de vertimiento y la sección transversal a dicho eje.

Todas las determinaciones y mediciones establecidas en este artículo, estarán a cargo del responsable de la actividad industrial, comercial o de servicios, aplicando para tales efectos lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo de los Vertimientos en Aguas Superficiales y Subterráneas.

CAPÍTULO III VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES MICROBIOLÓGICOS EN VERTIMIENTOS PUNTALES DE AGUAS RESIDUALES (ARD y ARnD) A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES

ARTÍCULO 6. *Parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) a cuerpos de aguas superficiales.* Se realizará el análisis y reporte de los valores de la concentración en Número Más Probable (NMP/100mL) de los Coliformes Termotolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) mediante las cuales se gestionen excretas humanas y/o de animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO₅.

Parágrafo. La toma de muestras deberá realizarse de forma simultánea con la caracterización del(os) vertimiento(s) puntual(es), en el mismo período de tiempo que dure la misma y en el mismo punto de la caracterización.

CAPÍTULO IV PARÁMETROS DE INGREDIENTES ACTIVOS DE PLAGUICIDAS DE LAS CATEGORÍAS TOXICOLÓGICAS IA, IB Y II Y SUS VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES EN LOS VERTIMIENTOS PUNTALES DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS – ARnD A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES Y AL ALCANTARILLADO PÚBLICO

ARTÍCULO 7. *Parámetros de ingredientes activos de plaguicidas de las categorías toxicológicas IA, IB y II y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales y al alcantarillado público.* Las actividades que tengan aguas residuales no domésticas – ARnD, y que:

- A. Usen directamente en su actividad industrial, comercial o de servicios, o que las materias primas o insumos contengan plaguicidas con ingredientes activos de las categorías toxicológicas IA, IB y II, de acuerdo con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud - OMS y/o el Ministerio de Salud y Protección Social o quien haga sus veces, para:
1. El lavado, la limpieza y/o la desinfección de productos agropecuarios;
 2. El mantenimiento y limpieza de aeronaves o de elementos y equipos empleados para su aplicación (aérea o terrestre).



Resolución No. **0631** del **17 MAR 2015**

Hoja No. 5

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

3. El mantenimiento de su infraestructura, incluyendo la asociada con los dos (2) ítems anteriores.
 4. Sistemas de refrigeración, enfriamiento e intercambio de calor.
- B. Fabriquen ingredientes activos de las categorías toxicológicas IA, IB y II de acuerdo con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud - OMS y/o el Ministerio de Salud y Protección Social o quien haga sus veces o productos formulados con estos ingredientes activos.

Deberán cumplir con los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD a los cuerpos de aguas superficiales o al alcantarillado público, que se señalan a continuación:

1. El valor límite máximo permisible de la concentración presente en el vertimiento es de 0,001 mg/L para cada una de las siguientes características químicas:
 - a. Los ingredientes activos de plaguicidas de la Categoría Toxicológica IA con características químicas cuyos valores de Dosis Letal Oral (DL_{50} oral) en ratas más altos conocidos sean menores o iguales a 20,00 mg/Kg de peso corporal, según las referencias reconocidas por el Ministerio de Salud y Protección Social o quien haga sus veces.
 - b. Los ingredientes activos de plaguicidas con características toxicológicas cuya información reconocida por el Ministerio de Salud y Protección Social o quien haga sus veces, sean catalogadas como extremada o altamente peligrosas.
2. El valor límite máximo permisible de la concentración presente en el vertimiento es de 0,05 mg/L para los ingredientes activos de plaguicidas de la categoría Toxicológica IB, cuyos valores de Dosis Letal Oral (DL_{50} oral) en ratas más bajos conocidos sean mayores a 20,00 y menores o iguales a 200,00 mg/Kg de peso corporal, según las referencias reconocidas por el Ministerio de Salud y Protección Social o quien haga sus veces.
3. El valor límite máximo permisible de la concentración presente en el vertimiento es de 0,10 mg/L para los ingredientes activos de plaguicidas de la Categoría Toxicológica II exceptuando los clasificados como Compuestos Organoclorados, cuyos valores de Dosis Letal Oral (DL_{50} oral) en ratas más bajos conocidos sean mayores a 200,00 y menores o iguales a 2.000,00 mg/Kg de peso corporal, según las referencias reconocidas por el Ministerio de Salud y Protección Social o quien haga sus veces.

El valor límite máximo permisible de la concentración presente en el vertimiento es de 0,05 mg/L para los ingredientes activos de plaguicidas de la Categoría Toxicológica II clasificados como Compuestos Organoclorados y cuyos valores de Dosis Letal Oral (DL_{50} oral) en ratas más bajos conocidos sean mayores a 200,00 y menores o iguales a 2.000,00 mg/Kg de peso corporal, según las referencias reconocidas por el Ministerio de Salud y Protección Social o quien haga sus veces.

Parágrafo. La concentración total de ingredientes activos de plaguicidas del presente artículo, deberán cumplir:





Resolución No. **0631** del **7 MAR 2013** Hoja No. 6

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

1. La suma total de las concentraciones de los ingredientes activos de plaguicidas cuyo valor individual máximo admisible sea de 0,001 mg/L podrá ser de 0,01 mg/L como máximo, sin que en ningún caso se excedan los valores individuales.
2. La suma total de las concentraciones de los ingredientes activos de plaguicidas cuyo valor individual máximo admisible sea de 0,05 mg/L, incluyendo los clasificados como Compuestos Organoclorados, podrá ser de 0,50 mg/L como máximo, sin que en ningún caso se excedan los valores individuales.
3. La suma total de las concentraciones de los ingredientes activos de plaguicidas cuyo valor individual máximo admisible sea de 0,10 mg/L podrá ser de 1,00 mg/L como máximo, sin que en ningún caso se excedan los valores individuales.
4. La suma total de las concentraciones de los ingredientes activos de plaguicidas no podrá ser superior a 1,00 mg/L.

CAPÍTULO V
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y SUS VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES EN LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES

ARTÍCULO 8. *Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas – ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.* Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas – ARD y de las Aguas Residuales no Domésticas – ARnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cumplir, serán los siguientes:

| PARÁMETRO | UNIDADES | AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES | AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 Kg/día DBO ₅ |
|---|---------------------|---|---|
| Generales | | | |
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) ² | mg/L O ₂ | 200,00 | 180,00 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DB ₅) ³ | mg/L O ₂ | | 90,00 |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST) | mg/L | 100,00 | 90,00 |
| Sólidos Sedimentables (SSED) | mL/L | 5,00 | 5,00 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 20,00 | 20,00 |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Hidrocarburos | | | |
| Hidrocarburos Totales (HTP) | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Fósforo | | | |
| Ortofosfatos (P-PO ₄) ⁴ | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Fósforo Total (P) | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Nitrógeno | | | |
| Nitratos (N-NO ₃) | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Nitritos (N-NO ₂) | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃) | mg/L | | Análisis y Reporte |



Resolución No. **0631** del **17 MAR 2015**. Hoja No. 7

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

| PARÁMETRO | UNIDADES | AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES | AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD - ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 Kg/día DBO ₅ |
|---------------------|----------|--|--|
| Generales | | | |
| Nitrógeno Total (N) | mg/L | | Análisis y Reporte |

| PARÁMETRO | UNIDADES | AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD, Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 625,00 Kg/día Y MENOR O IGUAL A 3.000,00 Kg/día DBO ₅ | AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD, Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 3.000,00 Kg/día DBO ₅ |
|--|------------------------|---|---|
| Generales | | | |
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L O ₂ | 180,00 | 150,00 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L O ₂ | 90,00 | 70,00 |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST) | mg/L | 90,00 | 70,00 |
| Sólidos Sedimentables (SBED) | mL/L | 5,00 | 5,00 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 20,00 | 10,00 |
| Compuestos Semivolátiles Fenólicos | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Fenoles Totales | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Hidrocarburos | | | |
| Hidrocarburos Totales (HTP) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) | mg/L | | Análisis y Reporte |
| BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX) | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Fósforo | | | |
| Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Fósforo Total (P) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Nitrógeno | | | |
| Nitratos (N-NO ₃ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitritos (N-NO ₂ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Total (N) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Iones | | | |
| Cianuro Total (CN ⁻) | mg/L | 0,50 | 0,50 |
| Cloruros (Cl ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Sulfatos (SO ₄ ²⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Sulfuros (S ²⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Metales y Metaloides | | | |
| Aluminio (Al) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Cadmio (Cd) | mg/L | 0,10 | 0,10 |
| Cinc (Zn) | mg/L | 3,00 | 3,00 |
| Cobre (Cu) | mg/L | 1,00 | 1,00 |
| Cromo (Cr) | mg/L | 0,50 | 0,50 |
| Hierro (Fe) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Mercurio (Hg) | mg/L | 0,02 | 0,02 |
| Níquel (Ni) | mg/L | 0,50 | 0,50 |
| Plata (Ag) | mg/L | | Análisis y Reporte |
| Plomo (Pb) | mg/L | 0,50 | 0,50 |
| Otros Parámetros para Análisis y Reporte | | | |
| Acidez Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Alcalinidad Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Cálcica | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm) | m ⁻¹ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |



"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

Parágrafo. En los casos en que el vertimiento puntual de aguas residuales se realice en un cuerpo de agua superficial receptor o en un tramo del mismo, que tenga como destinación el uso del agua para consumo humano y doméstico, y pecuario la concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) en el vertimiento puntual de aguas residuales deberá ser menor o igual a 0,01 mg/L para aquellas actividades que lo tienen definido como de análisis y reporte.

**CAPÍTULO VI
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y SUS VALORES LÍMITES MÁXIMOS
PERMISIBLES EN LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE AGUAS RESIDUALES
NO DOMÉSTICAS – ARnD A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES**

SECTOR: ACTIVIDADES PRODUCTIVAS DE AGROINDUSTRIA Y GANADERÍA

ARTÍCULO 9. *Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería.* Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de las actividades productivas de agroindustria y ganadería, serán los siguientes:

AGROINDUSTRIA

| PARÁMETRO | UNIDADES | PROCESAMIENTO DE HORTALIZAS, FRUTAS, LEGUMBRES, RAÍCES Y TUBÉRCULOS | BENEFICIO DE CAFÉ (CLASIFICACIÓN DE LA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS – FNC/ CENICAFE) | |
|--|---------------------|---|--|---------------------|
| | | | PROCESO O ECOLÓGICO | PROCESO TRADICIONAL |
| Generales | | | | |
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 | 5,00 a 9,00 | 5,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L O ₂ | 150,00 | 3.000,00 | 650,00 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L O ₂ | 50,00 | | 400,00 |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/L | 100,00 | 800,00 | 400,00 |
| Sólidos Sedimentables (SSED) | mL/L | 5,00 | 10,00 | 10,00 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 10,00 | 30,00 | 10,00 |
| Compuestos de Fósforo | | | | |
| Fósforo Total (P) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Nitrógeno | | | | |
| Nitrógeno Total (N) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Otros Parámetros para Análisis y Reporte | | | | |
| Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm) | m ¹ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |

| PARÁMETRO | UNIDADES | PROCESOS POSTCOSECHA DE PLÁTANO Y BANANO | PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y DERIVADOS A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR | EXTRACCIÓN DE ACEITES DE ORIGEN VEGETAL |
|---|---------------------|--|---|---|
| | | | | |
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L O ₂ | 200,00 | 900,00 | 1.500,00 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L O ₂ | 50,00 | 500,00 | 600,00 |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/L | 100,00 | 200,00 | 400,00 |
| Sólidos Sedimentables (SSED) | mL/L | 5,00 | 2,00 | 2,00 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 10,00 | 20,00 | 20,00 |
| Compuestos Semivolátiles Fenólicos | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Hidrocarburos | | | | |
| Hidrocarburos Totales (HTP) | mg/L | | 10,00 | 10,00 |
| Compuestos de Fósforo | | | | |



Resolución N.º **0631** del **17 MAR 2015**

Hoja No. 9

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

| PARÁMETRO | UNIDADES | PROCESOS POSTCOSECHA DE PLÁTANO Y BANANO | PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y DERIVADOS A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR | EXTRACCIÓN DE ACEITES DE ORIGEN VEGETAL |
|--|------------------------|--|---|---|
| Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻) | mg/L | | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Fósforo Total (P) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Nitrógeno | | | | |
| Nitratos (N-NO ₃ ⁻) | mg/L | | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitritos (N-NO ₂ ⁻) | mg/L | | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Amoniacoal (N-NH ₃) | mg/L | | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Total (N) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Iones | | | | |
| Cloruros (Cl ⁻) | mg/L | | 600,00 | 500,00 |
| Sulfatos (SO ₄ ²⁻) | mg/L | | 500,00 | 500,00 |
| Metales y Metaloides | | | | |
| Arsénico (As) | mg/L | | 0,50 | 0,50 |
| Cadmio (Cd) | mg/L | | 0,05 | 0,05 |
| Cinc (Zn) | mg/L | | | |
| Cobre (Cu) | mg/L | | | |
| Cromo (Cr) | mg/L | | | |
| Mercurio (Hg) | mg/L | | | |
| Níquel (Ni) | mg/L | | 0,50 | 0,50 |
| Piomo (Pb) | mg/L | | 0,20 | 0,20 |
| Otros Parámetros para Análisis y Reporte | | | | |
| Acidez Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Alcalinidad Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Cálculo | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm) | m ⁻¹ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |

GANADERÍA

| PARÁMETRO | UNIDADES | GANADERÍA DE BOVINO, BUFALINO, EQUINO, OVINO Y/O CAPRINO | GANADERÍA DE BOVINO, BUFALINO, EQUINO, OVINO Y/O CAPRINO | GANADERÍA DE PORCINOS | GANADERÍA DE PORCINOS |
|---|------------------------|--|--|-----------------------|-----------------------|
| | | CRÍA | BENEFICIO | CRÍA | BENEFICIO |
| Generales | | | | | |
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L O ₂ | 500,00 | 900,00 | 900,00 | 800,00 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L O ₂ | 250,00 | 450,00 | 450,00 | 450,00 |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST) | mg/L | 150,00 | 200,00 | 400,00 | 200,00 |
| Sólidos Sedimentables (SSED) | mL/L | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 20,00 | 50,00 | 20,00 | 30,00 |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Fósforo | | | | | |
| Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Fósforo Total (P) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Nitrógeno | | | | | |
| Nitratos (N-NO ₃ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitritos (N-NO ₂ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Amoniacoal (N-NH ₃) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Total (N) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Iones | | | | | |
| Cloruros (Cl ⁻) | mg/L | | 500,00 | | 500,00 |
| Sulfatos (SO ₄ ²⁻) | mg/L | | 500,00 | | 500,00 |
| Otros Parámetros para Análisis y Reporte | | | | | |
| Acidez Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Alcalinidad Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Cálculo | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |



Resolución No. **0631** del **17 MAR 2015**

Hoja No. 10

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

| PARÁMETRO | UNIDADES | GANADERÍA DE BOVINO, BUFALINO, EQUINO, OVINO Y/O CAPRINO | GANADERÍA DE BOVINO, BUFALINO, EQUINO, OVINO Y/O CAPRINO | GANADERÍA DE PORCINOS | GANADERÍA DE PORCINOS |
|--|----------------|--|--|-----------------------|-----------------------|
| | | CRÍA | BENEFICIO | CRÍA | BENEFICIO |
| Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm) | m ¹ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |

| PARÁMETRO | UNIDADES | GANADERÍA DE BOVINOS Y PORCINOS | GANADERÍA DE AVES DE CORRAL | GANADERÍA DE AVES DE CORRAL |
|--|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | BENEFICIO DUAL (BOVINOS Y PORCINOS) | INCUBACIÓN Y CRÍA | BENEFICIO |
| Generales | | | | |
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L O ₂ | 800,00 | 400,00 | 650,00 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L O ₂ | 450,00 | 200,00 | 300,00 |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST) | mg/L | 225,00 | 200,00 | 100,00 |
| Sólidos Sedimentables (SSED) | mL/L | 5,00 | 5,00 | 2,00 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 30,00 | 20,00 | 40,00 |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Fósforo | | | | |
| Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | | Análisis y Reporte |
| Fósforo Total (P) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Nitrógeno | | | | |
| Nitratos (N-NO ₃ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | | Análisis y Reporte |
| Nitritos (N-NO ₂ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃) | mg/L | Análisis y Reporte | | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Total (N) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Iones | | | | |
| Cloruros (Cl ⁻) | mg/L | 600,00 | 250,00 | 250,00 |
| Sulfatos (SO ₄ ²⁻) | mg/L | 500,00 | 250,00 | 250,00 |
| Otros Parámetros para Análisis y Reporte | | | | |
| Acidez Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Alcalinidad Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Cálcica | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm) | m ¹ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |

SECTOR: ACTIVIDADES DE MINERÍA

ARTÍCULO 10. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles, en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería. Los parámetros fisicoquímicos que se deberán monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de las actividades de minería, serán los siguientes:

MINERÍA

| PARÁMETRO | UNIDADES | EXTRACCIÓN DE CARBÓN DE PIEDRA Y LIGNITO | EXTRACCIÓN DE MINERALES DE HIERRO | EXTRACCIÓN DE ORO Y OTROS METALES PRECIOSOS |
|---|---------------------|--|-----------------------------------|---|
| Generales | | | | |
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L O ₂ | 150,00 | 150,00 | 150,00 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L O ₂ | 50,00 | 50,00 | 50,00 |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST) | mg/L | 50,00 | 50,00 | 50,00 |
| Sólidos Sedimentables (SSED) | mL/L | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| Fenoles | mg/L | 0,20 | 0,20 | 0,20 |